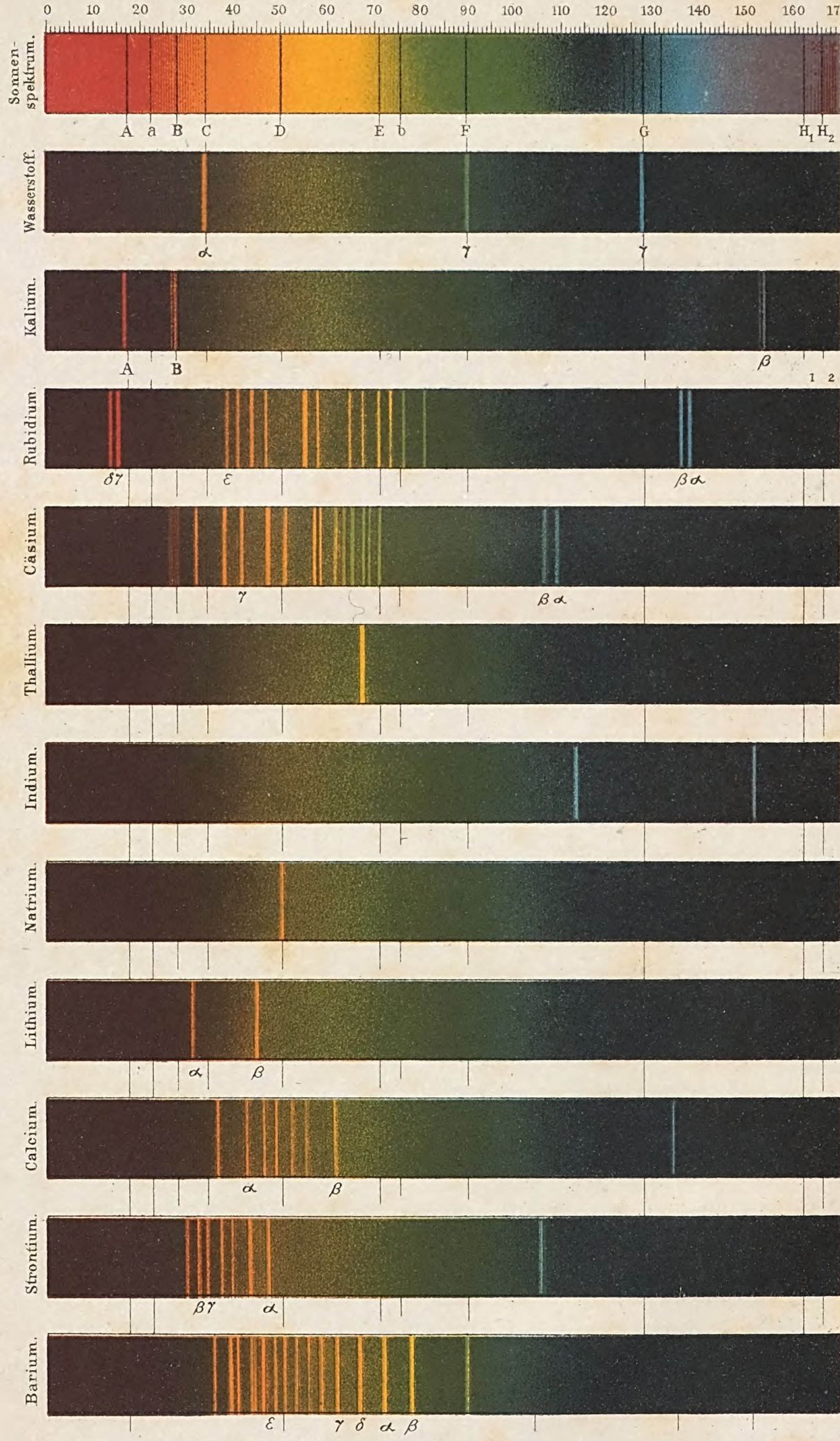


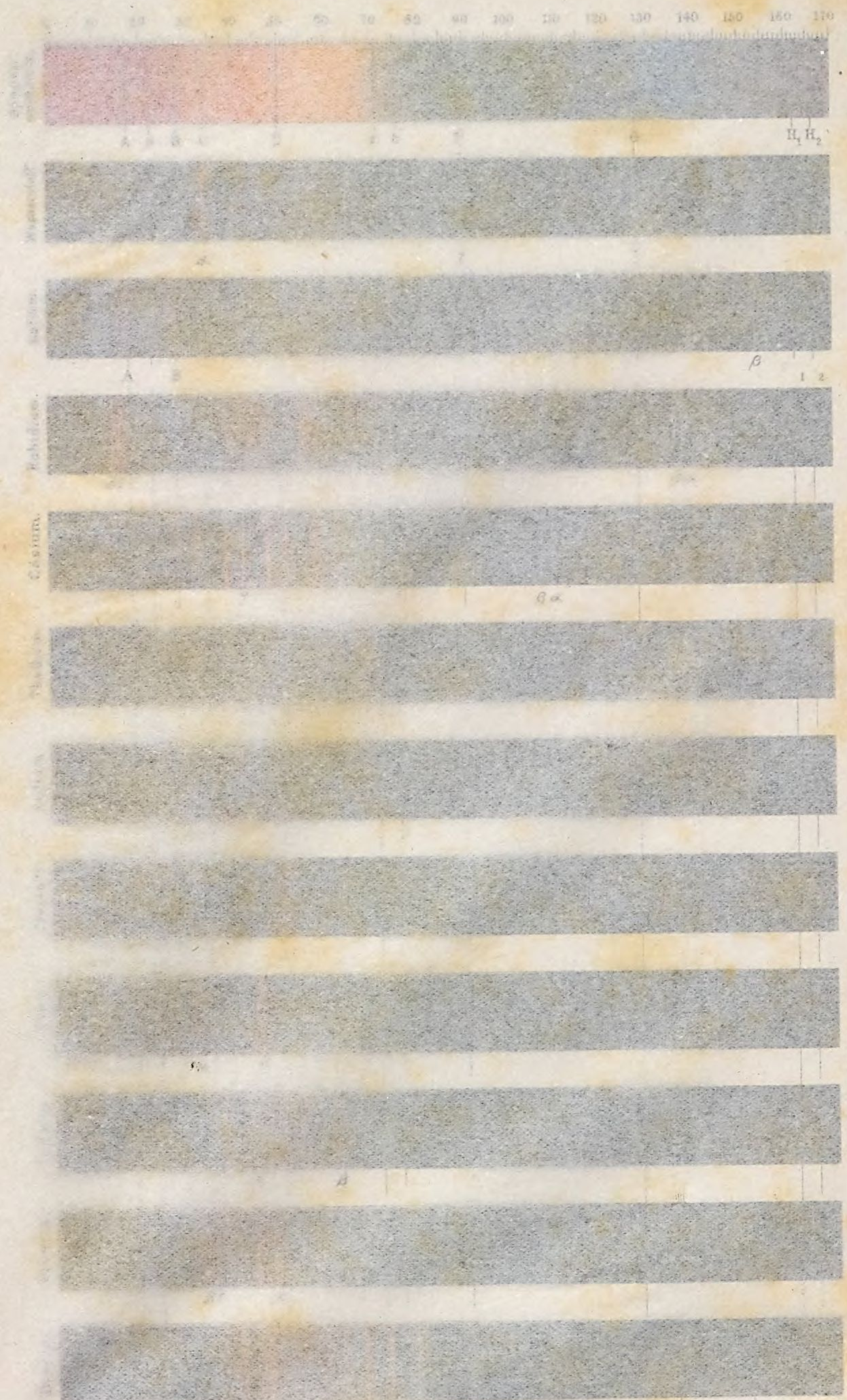
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170
Sonnen-spektrum.
A a B C D E b F G H1 H2
Wasserstoff.
α γ γ
Kalium.
A B β
1 2
Rubidium.
δγ ε βα
Cäsium.
γ βα
Thallium.
Indium.
Natrium.
Lithium.
α β
Calcium.
α β
Strontium.
βγ α
Barium.
ε γ δ α β

Leitfaden

für den

Unterricht in der Physik





10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170
A a B C D E b F G H1 H2
A B
1 2
Rubidium.
Cäsium.

Leitfaden

für den

Unterricht in der Physik

auf

Gymnasien, Gewerbe-, Real- und höheren Bürgerschulen

von

Professor Dr. H. A. Brettner,

weiland Königl. Regierungs- und Provinzial-Schulrate, Direktor des Marien-Gymnasiums zu Posen, Mitgliede mehrerer gelehrter Gesellschaften.

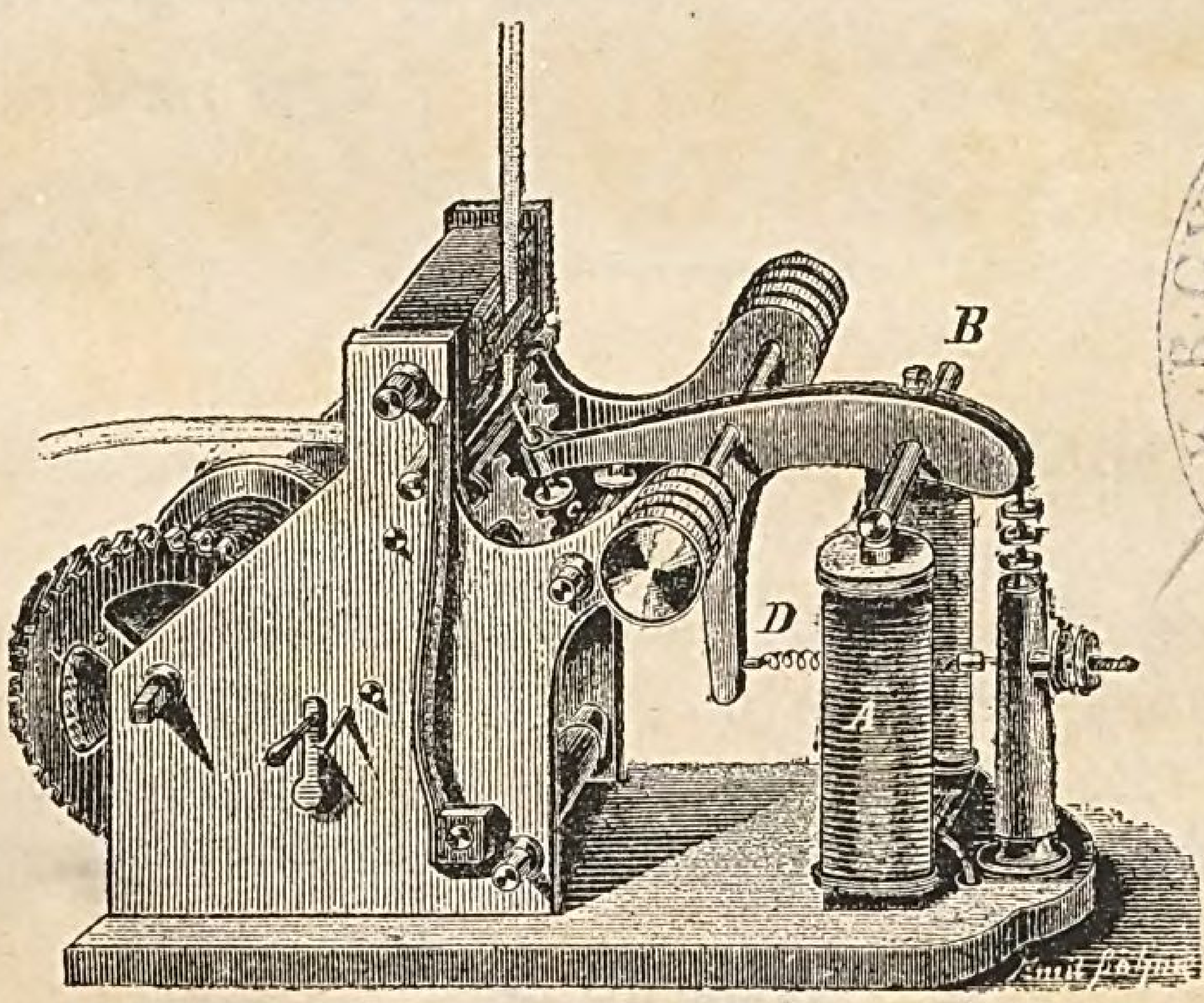
Zwanzigste vermehrte und verbesserte Auflage,

herausgegeben

von

Oberlehrer Alffers und Prof. Blümel.

Mit 155 in den Text eingedruckten Figuren und 1 Tafel in Farbendruck.



Stuttgart.

Verlag von Albert Heitz.

1882.

Druck von G. Lemppenau in Stuttgart.

Vorwort zur vierzehnten Auflage.*)

Aus dem Vorworte zur achten Auflage entnehme ich folgende Stelle, weil ich ihren Inhalt bei allen darauffolgenden Auflagen zu beobachten bemüht war.

Auch bei der Besorgung der achten Auflage dieses Buches habe ich mich durch den Gedanken leiten lassen, daß dasselbe nur die Bestimmung hat, die Grundlehren der Physik und deren Hauptfolgerungen mitzuteilen, und zwar weder in zu dürrer Kürze, noch in zu ermüdender Umständlichkeit, und in einer Darstellungsweise, welche teils durch die auf diese Wissenschaft in höheren Schulen zu verwendende Zeit, teils durch die Bildungsstufe der Schüler bedingt ist. Die vorgenommenen Verbesserungen und Vermehrungen, welche sich fast in jedem Abschnitte, wenn auch in ungleicher Menge, vorfinden, werden diejenigen der Herren Kollegen, welche sich bei ihrem Unterrichte dieses Leitfadens bedienen, überzeugen, daß ich die neueren und neuesten Fortschritte der Wissenschaft, soweit sie in Schulbücher schon aufnehmbar sind, nicht unberücksichtigt gelassen habe.

Möchte es mir gelungen sein, auch in dieser neuen Auflage sowohl die Vermehrungen des Inhalts, als auch die Verbesserungen in der Darstellung der vorgetragenen Lehren im Sinne der voranstehenden Ansicht angebracht zu haben.

Posen, im März 1857.

Vorwort zur fünfzehnten Auflage.

Die Vergleichung dieser fünfzehnten Auflage mit der vierzehnten wird Jeden leicht erkennen lassen, daß in allen Abschnitten Verbesserungen und in einigen auch Vermehrungen des Inhalts vorkommen. Das Letztere gilt besonders von dem Abschnitte über das Licht, noch

*) Die erste Auflage erschien 1828, die zweite 1832, die dritte und vierte 1834, die fünfte 1836, die sechste 1837, die siebente 1840, die achte 1842, die neunte 1844, die zehnte 1846, die elfte 1849, die zwölfte 1852, die dreizehnte 1854, die vierzehnte 1857, die fünfzehnte 1860, die sechzehnte 1864, die siebzehnte 1868, die achtzehnte 1872, die neunzehnte 1875.

mehr aber von dem über die Elektricität, welchen ich zum Teil umgearbeitet habe, was zur Folge hatte, daß ich den Elektromagnetismus in einer Unterabteilung bei der Kontaktelektricität, so wie die Magnetoelektricität bei der Induktionselektricität, abgehandelt habe, wodurch der Inhalt des Buches nunmehr in elf statt in die zwölf früheren Abschnitte verteilt ist. Die Zahl der Figuren ist von 118 auf 130 vermehrt worden. Ich hoffe auch dieses Mal die Brauchbarkeit dieses Leitfadens vergrößert zu haben.

Posen, im Mai 1860.

Vorwort zur sechzehnten Auflage.

In dieser neuen Auflage habe ich Verbesserungen in einzelnen Ausdrücken, so wie in der Darstellung des Inhalts mancher Paragraphen angebracht, und oft kürzere Zusätze, so wie auch einen neuen Paragraphen (169 b), welcher die Spektralerscheinungen behandelt, hinzugefügt. Die Zahl der Figuren ist von 130 auf 132 gestiegen.

Posen, im Juni 1863.

H. A. Brettner.

Vorwort zur siebzehnten Auflage.

Da dieses Buch, wie die zahlreichen Auflagen zeigen, sich einen weiten Wirkungskreis geschaffen hat, so ist es wohl wünschenswert, daß es in diesen Kreisen zur Förderung naturwissenschaftlichen Unterrichts erhalten bleibe und den so schnell uns entrissenen Verfasser in diesem seinem Lieblingswerk fortleben lasse.

Zur Erinnerung an den Verfasser, „gewandt und klar als Lehrer, tüchtig als Experimentator, liebenswürdig im Umgange", wie denselben ein nun heimgegangener Freund und Kollege bezeichnete, findet sein Lebensbild auch hier wohl eine angemessene Stelle.

Hans Anton Brettner, geboren den 10. Mai 1799 in Michowitz bei Beuthen in Oberschlesien, war der Sohn eines Landwirts. Die vielversprechenden Anlagen des Knaben entwickelten sich früh; deshalb brachte ihn seine Mutter auf das Matthias-Gymnasium in Breslau. Im Jahre 1819 bezog er dort die Universität, deren Professoren, namentlich der später nach Berlin berufene Steffens, den strebsamen jungen Mann ihres näheren Umgangs und ihrer persönlichen Freundschaft würdigten. Durch Steffens wurde er dem General-Feldmarschall Graf York von Wartenburg zum Gouverneur

seines Sohnes empfohlen. Die beiden Jünglinge besuchten nun gemeinsam die Kollegia, und genossen während der Mittag- und Abendzeit in der Familie Steffens die anregende und begeisternde Unterhaltung des hochverehrten, reichbegabten Lehrers. — Die öffentliche Laufbahn betrat B. 1824 als Lehrer am Gymnasium in Gleiwitz. Von da beginnt für ihn ein neues Leben voll ununterbrochener Arbeit, unter deren Last mancher Andere gebeugt worden wäre. Denn außer dem Unterricht am Gymnasium erteilte er denselben noch an der Gewerbe- und Töchterschule, bearbeitete seine mathematischen und physikalischen Lehrbücher, welche weit über die Grenzen Preußens Verbreitung fanden. 1837 wurde B. am Matthias-Gymnasium in Breslau angestellt, wo er sich gleichfalls die Achtung und Anerkennung nicht nur der Schüler und Lehrer, sondern auch die des größeren Publikums erwarb, da er vor einem zahlreichen Zuhörerkreise im Saale der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Kultur populär-wissenschaftliche Vorträge hielt. Von der Universität Kiel bekam er das Doktordiplom und Friedrich Wilhelm III. verlieh ihm den Professortitel. 1843 erhielt B. den Ruf als Königlicher Regierungs- und Schulrat nach Posen, wo ihm 1846 das Direktorat des Marien-Gymnasiums übertragen wurde; auch wohnte er der Landes-Schulkonferenz im Jahre 1849 bei. Ungeachtet der schwierigen Vereinigung zweier arbeitsvoller Ämter hat er sich als Schul- und Jugendfreund bewährt und es in hohem Grade verstanden, sich weit über die Schule hinaus die Liebe und Anhänglichkeit seiner Zöglinge zu sichern. Davon giebt auch die Brettnersche Jubiläums-Stiftung ein Zeugnis, welche der Pfarrer Eugen Hoffmann zu Alt-Zülz, Brettners Schüler 1824—28, am 3. Mai 1866 zur Förderung physikalischer und naturwissenschaftlicher Studien am Gymnasium zu Gleiwitz gegründet hat. Um die Seele seines innersten Strebens zu kennen, mußte man dafür ein Auge haben, daß der Geist innigster Frömmigkeit der Quell war, aus welchem seine ganze Wirksamkeit hervorquoll. Er gehörte der Geburt und inneren Überzeugung nach der katholischen Kirche an, zeigte aber durch sein leuchtendes Beispiel, daß er auch als solcher fähig sei, das Bild des Herrn in dem Genossen jeder andern Konfession zu erkennen und zu lieben. Seit 1824 verheiratet, führte B. mit seiner nun um ihn trauernden Witwe ein reichbewegtes Familienleben. — Der Tod ereilte den noch kräftigen, fast 67jährigen Schulmann am 25. Februar 1866 mitten in seiner Berufsthätigkeit; denn noch wenige Stunden vor seinem Heimgange erteilte er Unterricht und erquickte sich an der ungeteilten Aufmerksamkeit der Jünglinge, welche zur Universität vorzubereiten ihm Herzensfreude war.

Die Nachricht von seinem Absterben erfüllte die Bewohner Posens mit Schmerz und Trauer, welche sich durch die regste und aufrichtigste Teilnahme an der Beerdigung des allgemein geliebten und hochverehrten Mannes kundgab: außer den Lehrern und Schülern

des Marien-Gymnasiums, dem Regierungs-Kollegium, den Elementarschulen, dem Schullehrer-Seminar, den Deputationen der Realschule, des Friedrich-Wilhelm-Gymnasiums und des zu Schrimm waren nahe an 150 Geistliche aus der Provinz erschienen, an welche sich ein Gefolge von nahe an achttausend Personen anschloß. Das giebt von dem besonnenen und gerechten Wirken des Verstorbenen das schönste Zeugnis. — Friede Gottes seiner Seele!

Der Unterzeichnete hofft durch die sorgfältige Durchsicht und die erforderlichen Ergänzungen, sowie durch das beigefügte alphabetische Verzeichnis zur ferneren Brauchbarkeit des Buches beizutragen.

Liegnitz, im Juni 1868.

F. Bredow.

Vorwort zur zwanzigsten Auflage.

Die Herausgabe dieser Auflage hatte Kollege Ulffers in Brieg übernommen; nachdem er die neun ersten Abschnitte bearbeitet, und den Druck des größten Teiles derselben revidiert hatte, starb er, und die Vollendung der Arbeit wurde dem Unterzeichneten übertragen.

An einem Lehrbuche, das die zwanzigste Auflage notwendig macht, darf man wohl nur so viel ändern, als die fortschreitende Wissenschaft fordert. Neu hinzugefügt sind § 193 und § 194. Im zehnten Abschnitte sind die Influenzmaschine und die Differentiallampe von Siemens berücksichtigt, der Ruhmkorffsche Apparat ausführlicher, die Voltasche Säule etwas weniger ausführlich behandelt. Auch sonst wird man an verschiedenen Stellen größere oder geringere Änderungen bemerken.

Der Grundgedanke des Leitfadens, wie er in der vierzehnten Auflage ausgesprochen, ist nicht geändert.

Charlottenburg, im Oktober 1881.

E. Blümel.

Inhalt.

Achter Abschnitt.

Neunter Abschnitt.

Zehnter Abschnitt.

Elfter Abschnitt.

Einleitung.

1. Materie ist alles, was einen Raum ausfüllt. **Körper** heißt hier jeder mit Materie angefüllter und in bestimmte Grenzen eingeschlossener Raum, oder: Ein Körper ist begrenzte Materie.

Man nennt auch diesen Körper einen **physischen**, zum Unterschiede von dem **mathematischen**, der nur ein begrenzter, der Materie aber ganz ermangelnder Raum ist. Jener ist Gegenstand der Physik, der Künste, der Gewerbe und des täglichen Verkehrs; dieser der Geometrie.

2. Es giebt **Erd-** und **Himmelskörper**. Den eigentlichen Gegenstand der Betrachtung machen hier vorzugsweise die ersteren aus; sie werden eingeteilt in **organische** oder lebende und **unorganische** oder leblose Körper. Jene haben Werkzeuge, Organe, durch welche sie ihre inneren und äußeren Veränderungen, Ernährung und Fortpflanzung bewirken; bei diesen erkennen wir solche Werkzeuge nicht, nur durch fremde — mechanische und chemische Einwirkung verändern sie sich.

3. Die organischen Körper oder die lebenden Wesen sind **Tiere** und **Pflanzen**. Die ersteren sind mit Empfindung und freier Bewegung begabt, die letzteren weder mit dieser noch mit jener.

Organe sind Teile eines Körpers, denen bestimmte Geschäfte oder Funktionen zugewiesen sind, nach denen sie benannt werden. Die Pflanze hat Organe der **Ernährung** (Wurzeln, Stamm, Blätter, Saftröhren 2c.), und Organe der **Fortpflanzung** oder Reproduktion (Staubgefäße, Stempel und Samen). Das Tier hat aber außer **Ernährungs-** und **Fortpflanzungs-Organen** auch noch **Organe der Bewegung** oder Irritabilität (Knochen und Muskeln), und Organe der **Empfindung** oder Sensibilität (Gehirn, Nerven).

Die unorganischen Körper kommen in drei Hauptzuständen oder **Aggregatsformen** vor; sie sind nämlich: **fest**, **flüssig** oder **luftförmig**.

Feste oder **starre** Körper sind diejenigen, die in bestimmten Formen vorkommen, und deren Teile nur mit mehr oder weniger Gewalt, zuweilen gar nicht, verschoben werden können. Es giebt Grade der Festigkeit. Eisen, Steine, Holz, Wachs. — **Flüssige** Körper dagegen sind diejenigen, welche in kleinen Mengen kugelige Tropfen bilden, sonst keine selbständige Form haben, sondern immer die Gestalt des Raumes, in dem sie eingeschlossen sind, annehmen, und deren Teile sich leicht verschieben und trennen lassen. Auch hier giebt es Grade der Flüssigkeit. Sirup, Öle, Wasser, Spiritus. — **Luftförmige** Körper oder **Luftarten** endlich sind solche, deren Teile sich noch leichter als die der

flüssigen Körper verschieben lassen, und die außerdem das Bestreben haben, sich in einen immer größeren Raum auszudehnen, und zwar desto stärker, je mehr sie zusammengedrückt werden. Die Luftarten sind entweder Gase oder Dämpfe. Diese behalten die Luftform nur bei hoher Wärme oder geringem äußeren Drucke, werden aber flüssig bei Verminderung der Wärme oder Vermehrung des Druckes; jene dagegen verlieren ihre Luftform erst bei hinlänglich hohem Grade von Kälte oder bedeutendem Drucke.

Man unterscheidet auch blos feste und flüssige Körper, teilt dann aber die letzteren in tropfbar- und ausdehnsam- oder elastisch-flüssige ein.

4. Bei genauer Betrachtung der Körper bemerkt man Veränderungen an ihnen. Alles, was an einem Körper irgend eine Veränderung hervorbringt, heißt eine Kraft. Kräfte und die durch sie hervorgebrachten Veränderungen der Körper verhalten sich zu einander, wie Ursache und Wirkung; sie stehen also in geradem Verhältnisse zu einander, d. h. je größer jene, desto größer diese. Wir schließen hier immer nur aus der Größe der Veränderung, d. i. der Wirkung, auf die Größe der Kraft, d. i. der Ursache.

Die Veränderungen der Körper sind aber doppelter Art: entweder wird nämlich dabei die Materie der Körper ganz umgewandelt, also neue Materie hervorgebracht, oder die Materie bleibt dieselbe, indem nur eine Raumveränderung stattfindet. Jene sollen innere, diese äußere Veränderungen der Körper heißen, so wie die Kräfte selbst innere oder äußere, je nachdem sie innere oder äußere Veränderungen der Körper hervorbringen.

5. Unter Natur versteht man den Inbegriff aller durch die Sinne wahrnehmbarer Gegenstände, und unter Naturwissenschaft oder Naturkunde den gesamten Inbegriff aller unserer Erkenntnisse von der Natur. Diese Erkenntnisse beziehen sich aber entweder auf die Merkmale der Körper, durch welche sie sich von einander unterscheiden, oder auf ihre Veränderungen; daher die Naturwissenschaft vorerst in zwei Hauptteile: Naturbeschreibung oder Naturgeschichte, und Naturlehre oder Physik im allgemeinsten Sinne zerfällt.

Natur im Gegensatz von Kunst. — Natur als Inbegriff der Eigenschaften eines Körpers.

6. Die Naturgeschichte, welche vorzugsweise die äußeren Merkmale der Körper aufsucht und in Folge von übereinstimmenden Merkmalen verwandte Körper in Ordnungen bringt und beschreibt, hat drei Unterabteilungen: Mineralogie, Beschreibung der leblosen Körper, welche die feste Rinde unserer Erde bilden; Botanik, Pflanzenkunde, und Zoologie, Tierkunde.

7. Die Naturlehre im allgemeinsten Sinne schließt in sich die Physiologie, die es nur mit den lebenden Wesen zu thun hat — Physiologie der Pflanzen, Physiologie der Tiere — und die Naturlehre schlechtweg, welche die leblosen Körper betrachtet. Wenn die

letztere insbesondere die inneren Veränderungen der Körper behandelt, heißt sie **Chemie**; hat sie es aber nur mit äußeren Veränderungen derselben zu thun, **Naturlehre** oder **Physik** im engsten Sinne. Die Chemie von ihr ganz zu trennen, ist nicht möglich; es giebt daher einen chemischen Teil der Physik.

Physikalische und chemische Kräfte. — Gleichbedeutende Ausdrücke sind: äußere, räumliche oder mechanische und physikalische Veränderungen; eben so: innere, materielle und chemische Veränderungen. Dasselbe gilt von den Kräften.

8. Diese Veränderungen der Körper (Phänomene, Naturerscheinungen, Naturbegebenheiten) erfolgen nach bestimmten unwandelbaren Gesetzen; es ist daher die Aufgabe der Physik: nicht blos die Entdeckung der Veränderungen, sondern auch die Erforschung der Gesetze, nach welchen jene erfolgen. **Die Physik ist also die Wissenschaft von den äußeren Veränderungen der Körper und den Gesetzen (Naturgesetzen), nach denen jene erfolgen.**

9. Die Veränderungen der Körper können wir nur auf dem Wege der Erfahrung kennen lernen; zu den Naturgesetzen gelangen wir, indem wir mittelst der Vernunft aus einer Menge von Erfahrungen, die wir mit einander nach dem, worin sie übereinstimmen oder von einander abweichen, vergleichen, allgemeine Regeln ableiten. Die Ursachen der beobachteten Wirkungen sind uns bis jetzt fremd geblieben; denn die letzte der Ursachen liegt jenseit der Grenzen unseres Fassungsvermögens, unserer Urteilskraft.

Alle Erfahrungen aber sind entweder **Beobachtungen** (Observationen) oder **Versuche** (Experimente). Wir machen eine Beobachtung, wenn wir einen Körper in demjenigen Zustande oder in denjenigen Verhältnissen lassen, in die er durch sich selbst ohne unser Zuthun gekommen ist, und auf alle ihn treffenden Veränderungen merken; wir machen dagegen einen Versuch, wenn wir den Zustand, in welchen ein Körper von selbst gekommen ist, ändern; ihn also zwingen, in Verhältnisse einzugehen, in die er von selbst nicht gekommen wäre, und dabei ebenfalls auf die ihn treffenden Veränderungen achten. Mit dem Versuche muß immer eine Beobachtung verknüpft sein.

Es ist eine Beobachtung, wenn wir im Winter zusehen, wie das Wasser gefriert; ein Versuch aber, wenn wir Wasser zum Gefrieren bringen, indem wir ein Gefäßchen mit Wasser in eine Mischung aus Schnee und Salmiak stellen; es ist eine Beobachtung, wenn wir bemerken, wie das Quecksilber im Barometer durch den Druck, das im Thermometer durch die Wärme der Atmosphäre steigt und fällt; ein Versuch aber, wenn das Quecksilber im Barometer zum Steigen und Fallen gebracht wird, indem sein offenes Ende in ein Gefäß reicht, in welchem künstlich die Luft verdichtet und verdünnt wird; oder wenn das Quecksilber im Thermometer zum Steigen oder Fallen gebracht wird, indem wir es in warmes oder kaltes Wasser tauchen.

Zu Beobachtungen und Versuchen gehören ein vorurteilsfreier Geist, gesunde Sinne, gute Werkzeuge, physikalische Instrumente. Physikalischer Apparat, physikalisches Kabinet. — Experimental-Physik.

Da unsere Naturerkenntnis immer von der sinnlichen Wahrnehmung ausgeht, so ist die Erfahrung auch das eigentliche Feld der Physik,

welche daher mit Recht eine Erfahrungswissenschaft genannt wird. Erst in der zweiten Hälfte des fünfzehnten Jahrhunderts betrat man in den physikalischen Untersuchungen den rechten Weg, den der Beobachtungen und Versuche, und wird ihn, als den allein zum Ziele führenden, gewiß nie verlassen. Die neuere Physik beginnt mit Nikolaus Kopernikus (1472 bis 1543).

10. Naturerscheinungen erklären, heißt, sie auf Naturgesetze zurückführen. Da wir aber nicht immer imstande sind, dies durch Beobachtungen und Versuche (§ 9) zu bewirken, so sind Hypothesen, welche auf Thatsachen fußend, das Verständnis dieser Thatsachen anbahnen, ein wertvolles Hülfsmittel wissenschaftlicher Forschungen.

Glückliche Hypothesen sind das Kopernikanische System und Newton's Attraktionslehre; denn die genauesten Beobachtungen bewähren die Richtigkeit der Voraussetzungen; stimmen mit den daraus gezogenen Schlüssen, und mit den darauf beruhenden Berechnungen vollkommen überein.

11. 1) Der Nutzen der Physik ist höchst mannigfaltig:

a) ihr Studium bildet unsern Geist, wie jede andere Wissenschaft, und führt uns so unserm Ziele, der Vervollkommnung unserer selbst, näher;

b) sie vernichtet Aberglauben und ungereimte Vorstellungen von Irrlichtern, Kometen u. s. w.;

c) sie zeigt uns auf der einen Seite die unendliche Größe des Schöpfers und die Ordnung und Harmonie in der Schöpfung, auf der anderen Seite die Beschränktheit unseres Geistes, und befördert so religiöses Gefühl und die Erkenntnis Gottes;

d) sie lehrt uns, Dinge um uns benützen, den üblen Einflüssen vieler Körper entgehen, und leitet auf Erfindungen, besonders in Künsten und Gewerben, die oft von dem außerordentlichsten Nutzen für die ganze Menschheit sind, z. B. der Kompaß, die Blitzableiter, die Dampfmaschinen, die elektro-magnetischen Telegraphen, die Augen- undFerngläser, Lampen, die Kunst zu färben, zu bleichen u. s. w.;

e) endlich gewährt sie uns auch die angenehmste Unterhaltung.

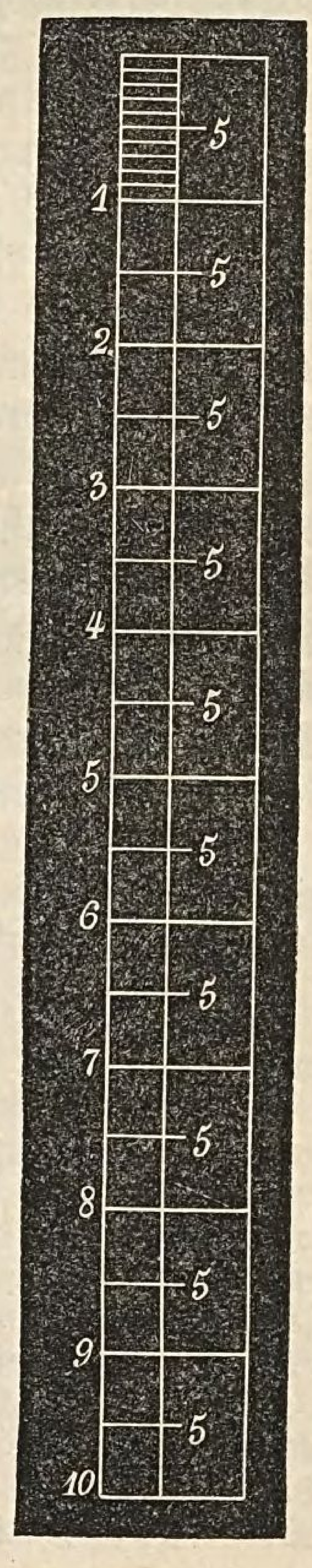
2) Das eigentliche Gebiet der Physik läßt sich zweckmäßig in folgende Abschnitte einteilen: 1) Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper; 2) vom Gleichgewichte und der Bewegung der Körper; 3) von den festen, 4) den flüssigen, 5) den luftförmigen Körpern; 6) vom Schalle; 7) vom Lichte; 8) von der Wärme; 9) vom Magnetismus; 10) von der Elektricität. Diesen wird oft als 11) Abschnitt das Wichtigste aus der Chemie hinzugefügt.

Die Gründe dieser Einteilung, welcher die nun folgenden elf Abschnitte in ihrer Aufeinanderfolge entsprechen, werden sich später von selbst ergeben.

Erster Abschnitt.

Von den allgemeinsten Körperphänomenen.

12. Man teilte früher strenger als jetzt die Eigenschaften der Körper ein in *allgemeine* und *besondere*, und erklärte sie so: Allgemeine Eigenschaften der Körper sind diejenigen, die man bei allen Körpern, wenn auch in verschiedenen Graden, vorfindet; besondere dagegen, die nur an gewissen Arten von Körpern wahrgenommen werden. Zu den ersteren zählte man die *Ausdehnung*, die *Undurchdringlichkeit*, die *Teilbarkeit*, die *Porosität*, die *Elasticität*, die *Ausdehnbarkeit*, die *Preßbarkeit* und die *Schwere*; zu den letzteren z. B. die Eigenschaften der Körper in Bezug auf Wärme, Elektricität und Magnetismus. Man pflegte auch wohl hiernach die Physik einzuteilen in die *allgemeine* und *besondere* Physik. Da aber tiefere physikalische Untersuchungen der neueren Zeit gezeigt haben, daß Wärme, Magnetismus u. s. w., eben so gut allgemein zu nennen sind, als die Schwere u. s. w., Elasticität aber keineswegs in dem angegebenen Sinne eine allgemeine Eigenschaft ist, so soll hier auf jenen Unterschied weiter keine besondere Rücksicht genommen werden.



13. Die *Ausdehnung* ist diejenige Eigenschaft eines Körpers, vermöge welcher er überhaupt einen Raum einnimmt, nach drei Dimensionen: *Länge*, *Breite* und *Tiefe* oder *Höhe*; der Raum ist begrenzt, wodurch die *Gestalt* oder *Form* des Körpers bestimmt wird.

Zur Messung der Dimensionen ist gegenwärtig nach Übereinkunft fast sämmtlicher Kulturstaaten der Erde allgemein *der Meter* als Grundeinheit für Längengrößen angenommen. Dieser ist der zehnmillionste Teil des Erdmeridianquadranten. Ein Meter wird eingeteilt in Decimeter, Centimeter, Millimeter. Die Figur stellt einen Decimeter dar, dessen erster Centimeter in Millimeter geteilt ist. Die größeren Maße sind Dekameter, Hektometer, Kilometer, Meilen.

1 m = 10 dm = 100 cm = 1000 mm
1 km (Kilometer) 1000 m
1 neue Meile (Metermeile) = 7500 m
1 geographische Meile = 7420 m
1 Englischer Fuß = 305 mm
1 Rheinländ. Fuß = 314 mm
1 Pariser Fuß = 325 mm

Körper von überaus geringer Ausdehnung sind z. B. die Blutkügelchen, von denen sich Millionen in einem Blutstropfen, der an einer Stecknadelspitze hängen bleibt, befinden. — Die Infusionstierchen, von denen Millionen in dem Raume eines Sandkörnchens Platz haben.

Die *Undurchdringlichkeit* (Impenetrabilität) ist dagegen die Eigenschaft, vermöge welcher kein Körper

gleichzeitig den Raum eines anderen einnehmen kann. Von beiden Eigenschaften überzeugen wir uns durch das Gesicht und das Gefühl; ein Körper ist ein seh- und tastbares Ding.

Der mathematische Körper ist ausgedehnt, ohne undurchdringlich zu sein. Ausdehnung und Undurchdringlichkeit oder Raumerfüllung machen das Wesen des physischen Körpers aus; sie sind notwendige allgemeine Eigenschaften eines jeden physischen Körpers.

Schon die Erfahrung, daß sich eine Flasche mit einer Flüssigkeit nicht füllen lasse, wenn die darin enthaltene Luft nicht vorher entweichen kann, zeigt, daß auch die luftförmigen Körper undurchdringlich sind. Ein Trichter mit einer recht engen untern Öffnung, luftdicht in den Hals einer Flasche gekittet, läßt kein Wasser durch. — Ein Bierglas, umgekehrt und senkrecht unter Wasser getaucht, wird am Boden nicht naß.

Das Eindringen der Tinte in Löschpapier, des Wassers in Holz widerspricht nicht der Undurchdringlichkeit, sondern ist eine Folge der Porosität (§ 16), eben so wenig das, daß wir in Luft und Wasser gehen können; da ja hier diese Materien erst auf einen andern Ort in Folge der Beweglichkeit gebracht worden sind (§ 17).

14. Teilbarkeit — mathematische ist unendlich, da man jeden Körper in beliebig viele Stücke geteilt denken kann; — die mechanische, vermöge welcher er durch Zerschlagen, Zerreißen, Zerreiben, Zerspritzen, Abgießen u. s. w. (nach Art seiner Aggregatsform) in kleinere und immer kleinere Teile getrennt werden kann. Daß die Teilung der Körper unglaublich weit, die sinnliche Wahrnehmung überschreitend, gehen kann, beweisen Natur und Kunst. Obgleich die Teilbarkeit weit über die Grenzen der sinnlichen Wahrnehmung hinausgeht, so nimmt man doch zur Erklärung physischer und namentlich chemischer Erscheinungen an, daß die Körper aus sehr kleinen, nicht weiter teilbaren Urteilchen bestehen, welche man Moleküle und Atome nennt. In den Molekülen ist die äußerste Grenze mechanischer Zerteilung erreicht. Die Chemie jedoch beweist, daß alle Moleküle aus zwei oder mehreren Teilchen, Atomen, gesetzmäßig aufgebaut sind. Die Atome sind als die wirklich kleinsten, absolut unteilbaren, unzerstörbaren Urteilchen der Materie zu betrachten. Die Moleküle dagegen sind als die kleinsten Massenteilchen der physischen Körper anzusehen.

Riechende Substanzen, z. B. Moschus, welcher Jahre lang ein ganzes Zimmer mit seinem intensiven Geruch erfüllen kann, ohne merklich an Gewicht abzunehmen; Reseda, riechende Öle, Räucherkerzchen, Kampfer; Auflösung von färbenden Stoffen, z. B. Karmin, Indigo: der Geruch des auf den Küsten der Provence wachsenden Rosmarins verbreitet sich 20 bis 30 Meilen weit über die See. Ein Faden, an dem sich eine Spinne herabläßt, soll aus 6770 anderen dünnen Fäden bestehen. Ein Gramm Baumwolle kann zu einem Faden von 600 m gesponnen werden. Ein Gramm Gold läßt sich in einen Draht von 100 km ziehen. Man hat Gold-, Stahl- und Platin-Drähte von so außerordentlicher Feinheit gemacht, daß man sie mit bloßen Augen nicht mehr sehen kann und kaum fühlen konnte. In eine cylindrische Form von 57 cm Länge und 3 cm Durchmesser wurde in der Achse ein sehr dünner Draht von Gold oder Platina oder Stahl, dessen Durchmesser von dem der Form nur den zehnten Teil betrug, angebracht, und hierauf die Form mit geschmolzenem Silber gefüllt. Indem nun der herausgenommene Metallkörper durch immer engere Löcher gezogen wurde, entstand der feine Draht. Der Silberdraht, mit dem Kern aus Gold, Platina oder Stahl, hatte nach Wollaston zuletzt 0,01 mm Dicke. Durch Salpetersäure wurde das Silber

vom Golde und Platina, vom Stahl aber durch Quecksilber getrennt, und so blieb der Gold-, Platina- oder Stahldraht zurück, der, da er nur ein Zehnteil so dick, als der Cylinder war, nur eine Dicke von 0,001 mm haben konnte. Um einen solchen Draht halten zu können, muß das Silber an seinen Enden unaufgelöst bleiben. 2500 Meter solchen Golddrahtes wiegen erst ein Gramm. Frauenhofer hat auf Glas und Metall so überaus feine und so unglaublich nahe an einander liegende parallele Linien eingeschnitten, daß die Teilung eines Zolles in 10,000 Teile ganz genau und in 32,000 Teile fast genau war.

15. Ausdehnbarkeit (Expansibilität) ist die Eigenschaft der Körper, einen größeren, Preßbarkeit oder Zusammendrückbarkeit (Kompressibilität) dagegen die Eigenschaft, einen kleineren Raum einzunehmen. Da Volumen den vom äußeren Umfange eines Körpers begrenzten Raum bezeichnet, so kann man sagen: durch die Ausdehnbarkeit kann eines Körpers Volumen vergrößert, durch die Zusammendrückbarkeit verkleinert werden. Da ferner die Moleküle selbst nicht wohl als zusammendrückbar angenommen werden können, so zeigt diese Eigenschaft der Körper an, daß die Moleküle durch Druck einander genähert werden können, unter gewöhnlichen Umständen also in einer gewissen Entfernung von einander stehen müssen. Aus anderen Erscheinungen ist sogar zu schließen, daß diese Molekularzwischenräume erheblich größer sind, als die Moleküle selbst.

Das kräftigste Mittel, das Volumen der Körper zu ändern, ist die Wärme. Häufig werden aber auch angewendet Zug, Druck, Pressen &c., z. B. bei dem Gepräge der Münzen und Medaillen.

16. Außer den Molekularzwischenräumen finden sich bei festen Körpern größere Hohlräume, welche gewöhnlich mit Luft oder Wasser angefüllt sind. Diese Hohlräume werden Poren genannt; die Eigenschaft der Körper bezeichnet man als Porosität. Sofern auch die eigentlichen Molekularzwischenräume, wie es vielfach geschieht, zu den Poren gerechnet werden, ist auch die Porosität eine allen Körpern, auch den flüssigen und luftförmigen, zukommende Eigenschaft. Da jedoch beide Arten von Räumen ein in vielen Beziehungen wesentlich verschiedenes Verhalten zeigen, so ist eine Trennung beider Begriffe notwendig. Im obigen engeren Sinne ist die Porosität alleinige Eigenschaft fester Körper. Die Größe der eigentlichen Poren ist sehr verschiedenartig; während bei manchen Körpern dieselben als Höhlungen mit bloßem Auge deutlich sichtbar sind, wird bei den meisten Körpern deren Gegenwart durch Vergrößerungsgläser oder durch besondere Versuche bewiesen.

Schwamm, Kork, Holz, Leder, überhaupt alle festen Teile der Tiere und Pflanzen zeigen Poren, die mit bloßem Auge oder unter dem Mikroskop sichtbar sind; unsere Haut, durch welche der Körper ausdünstet, hat auf der Fläche eines Quadratcentimeters über tausend, bei einem ausgewachsenen Menschen von etwa 1,5 Quadratmeter Oberfläche über 15 Millionen Poren. Flüssigkeiten und Gase dringen oft freiwillig oder durch Wirkung von Druckkräften in die festen Körper ein, auch wohl ganz hindurch. Wasser und Quecksilber können mittelst der Luftpumpe durch Holz und Leder getrieben werden. Auch Steine sind porös, wie man das an den aus Flüssen und Meeren herausgenommenen sieht, wenn man sie zerschlägt. Eine mit Wasser gefüllte Goldkugel, welche in Florenz 1661 einem sehr starken einseitigen Druck ausgesetzt wurde, ließ Wassertröpfchen, die gleichsam einen Thau bildeten, durch; bei ausreichend starkem Drucke zeigen sich alle Metalle

für Flüssigkeiten und Gase durchdringlich. Nur Glas läßt weder Flüssigkeiten noch Gase durch, ist daher so wichtig für Aufbewahrung der Stoffe.

17. Beweglichkeit oder Bewegbarkeit bezeichnet die Fähigkeit der Körper, ihren Raum zu verändern, durch Kräfte von einer Stelle zur andern bewegt werden zu können. Man nennt in dieser Beziehung die Materie das Bewegliche im Raume.

18. Elasticität (Federkraft, Springkraft, Schnellkraft) bezeichnet die Eigenschaft der Körper, mittelst welcher sie, wenn ihre Gestalt in irgend einer Art durch eine äußere Kraft geändert worden ist, von selbst, sobald die Kraft zu wirken aufhört, die ursprüngliche Gestalt wieder annehmen. Elastisch werden also alle Körper sein, welche, wenn sie zusammengedrückt worden sind, sich von selbst ausdehnen; wenn sie ausgedehnt worden sind, sich von selbst wieder zusammenziehen; wenn sie zusammengebogen worden sind, sich von selbst zurückbiegen; oder wenn sie gedreht worden sind, sich wieder von selbst zurückdrehen. Die Elasticität fester Körper prüft man, indem man sie 1) nach ihrer Länge ausdehnt oder zusammenpreßt, 2) indem sie an beiden Enden unterstützt oder nur mit dem einen Ende fest eingeklemmt werden, und hierauf im ersten Falle durch eine Last in der Mitte, im zweiten Falle durch eine Last am andern Ende heruntergebogen werden, 3) indem man sie um ihre Achse dreht. Hierbei zeigen dieselben bis zu einer bestimmten Grenze der Wirkung vollkommene Elasticität, d. h. sie nehmen nachher wieder genau die ursprüngliche Gestalt und Größe an. Wird die Grenze überschritten, so tritt in der Regel eine dauernde Formveränderung ein, welcher bei fernerer Steigerung der wirkenden Kräfte schließlich eine Trennung der Teilchen, ein Bruch folgt. Es giebt Grade der Elasticität.

Die größte Elasticität findet man an gehärtetem Stahl, (Federstahl), geschlagenem Messing (Kupfer, Zink), Glockengut (Kupfer, Zink, Zinn), Elfenbein, Knochen. Interessant sind die Versuche mit Kugeln aus Federharz (Kautschuck, gummi elasticum), Elfenbein, Marmor, Achat ꝛc., welche man auf eine geschwärzte Steintafel aus gleichen Höhen auffallen läßt. Ballspiel, Billardspiel, Federn in Kanapees, Degenklingen, Stahlstreifen, Fischbein und Rohr in Regenschirmen, die Seile der Seiltänzer. Bei den Ballisten und Katapulten der Alten (Archimedes 212 v. Chr. — Syrakus — Marcellus) wirkte, wie beim Pfeilschießen mittelst gespannter Bogen, die Elasticität als bewegende Kraft.

Das Glas ist innerhalb enger Grenzen sehr vollkommen elastisch, wie an Glasfäden und sehr dünnen Glasplättchen zu sehen; doch fällt die Elasticitätsgrenze mit der Grenze des Bruches zusammen. Die sog. Bologneser Fläschchen, die Glastropfen und Glaswürmer, welche durch Eintauchen des glühend flüssigen Glases in Wasser sehr schnell gekühlt wurden, zerspringen bei der geringsten Verletzung der Oberfläche in staubartig kleine Teilchen. Den Gegensatz zu spröden Körpern zeigen die bildsamen oder plastischen Körper (Wachs), und die dehnbaren, wie Blei, Zinn, Gold, Silber, Kupfer, Messing, Schmiedeeisen.

Die flüssigen Körper, insbesondere Wasser, kehren zwar, wenn sie zusammengedrückt worden, was nach Versuchen von Oersted, Colladon und Sturm nur in geringem Grade möglich ist, nach Wegräumung der zusammendrückenden Kraft in den ursprünglichen Raum zurück; ob sie dieses aber auch thun, wenn sie ausgedehnt worden sind, wissen wir

bis jetzt noch nicht, weil uns außer der Wärme kein anderes Mittel bekannt ist, tropfbare Körper auszudehnen. Bei den luftförmigen Körpern können wir auch nur eine solche einseitige Elasticität annehmen. Sie lassen sich in einen engern Raum bringen, und dehnen sich wieder von selbst aus; aber sie können, dem ihnen eigentümlichen Bestreben, einen immer größeren Raum einzunehmen, zuwider, nie einen kleineren von selbst einnehmen. Wir nennen diese Eigenschaft der Luftarten Ausdehnsamkeit oder Expansion.

Eine aufgeblasene Rindsblase nimmt Eindrücke an, die von selbst vergehen. — Ein senkrecht ins Wasser getauchtes Glas springt, losgelassen, von selbst in die Höhe. — Ein in einem verschlossenen Cylinder herunter bewegter, genau anschließender Kolben geht, losgelassen, von selbst in die Höhe. — Attraktive und expansive Elasticität.

19. Attraktion (Anziehung) ist die allgemeinste Bezeichnung sowohl für das Bestreben der Körper, sich einander zu nähern und sich mit einander zu verbinden, teils durch bloßes Aneinanderhängen, teils durch eine wechselseitige Durchdringung, als auch für das Bestreben der Teile desselben Körpers, aneinander zu hängen und so ein Ganzes zu bilden. Diese Anziehung äußert sich teils nur bei der Berührung oder in unmerklicher Entfernung und ist als solche Kohäsion, Adhäsion, Kapillar-Attraktion, chemische Anziehung, teils in jeder denkbaren Entfernung und ist als solche Schwere und Gravitation. Die hierher gehörenden Erscheinungen zeigen besonders deutlich, daß die Materie mit Kräften versehen ist. Man kann Molekularkräfte und Massenkräfte unterscheiden, je nachdem man von der Anziehung der einzelnen Körperteile untereinander oder der Körper selbst spricht.

20. Kohäsion (Kohärenz) bezeichnet die Eigenschaft des Zusammenhanges der Teile eines Körpers, so lange er noch wirklich ein ungetrenntes Ganze bildet. Sie ist die Folge der Kohäsionskraft, d. i. der Anziehung der Körperteile untereinander, und sie offenbart sich durch den Widerstand, welchen die Körper der Teilung entgegensetzen. Die Stärke der Kohäsion oder die Festigkeit starrer Körper hat man auf dreierlei Art geprüft. Man hat nämlich prismatische Körper von gleicher Schnittfläche aus verschiedenen Materien verfertigt und untersucht, welche Kraft (in Gewichten ausgedrückt) sie in der Richtung ihrer Länge zerreißen; ferner welche Kraft sie, an beiden Enden unterstützt, senkrecht auf die Richtung der Länge zerbrechen, und endlich welche Kraft sie, wenn sie dieselben nach der Längenrichtung zusammenzudrücken strebt, zerdrücken kann. Diese Kräfte sind das Maß der absoluten, relativen und zurückwirkenden Festigkeit der Körper.

Zum Zerreißen eines Stabes von 1 qcm Querschnitt sind erforderlich bei:

Stahl	10000 kg	Kupfer	2300 kg
Eisen	5000 „	Eichenholz . . .	1500 „
Messing	3000 „	Tannenholz . . .	750 „

Diese Zahlen können nur als Mittelwerte dienen.

Es giebt manche Mittel, die Kohäsion zu verstärken, z. B. bei den Metallen das Schmieden, Hämmern und Walzen, auch chemische Beimischungen, wobei es oft auf das quantitative Verhältnis ankommt; bei Papier, Leder, Zeugen das Pressen; bei den Tüchern das Pressen und Walken. Durch alle diese Mittel werden die Poren kleiner, die Teile rücken näher aneinander, ziehen sich stärker an und die Festigkeit muß zunehmen.

Messing kann durch Hämmern drei Mal fester gemacht werden; Eisendraht von 3 Millimeter Dicke wird durch 350 kg, ein Draht von Stahl (Eisen mit Kohlenstoff) von derselben Dicke erst von 700 kg zerrissen. Auf Elefanten schießt man mit Kugeln aus Blei und Zinn. Der mehrere Millionen Pfund schwere Granitblock, auf welchem die Statue Peter's des Großen steht (Petro primo Catharina secunda 1782) zerdrückte bei seiner Fortbewegung aus dem Gebirge alle Kugeln aus Eisen und Messing (3 Tl. Kupfer und 1 Tl. Zink), nicht aber Kugeln aus Kupfer und Zink, als dazu mehr Zink, als zum gewöhnlichen Messing genommen wurde.

Ungebleichte Faden sind fester, als gebleichte; geflochtene Faden haben mehr Festigkeit, als wenn sie parallel neben einander liegen. Zu starkes Drehen schadet der Festigkeit der Stricke; man teert Stricke, um sie vor Wasser und Luft zu schützen, auf Kosten der Festigkeit.

Bei manchen festen Körpern ist die Festigkeit nach verschiedenen Richtungen auch verschieden stark: so spaltet sich z. B. Holz, Fischbein am leichtesten nach der Längenrichtung der Fasern. Federspulen. — Das Spalten der Krystalle (§. 23).

Die Expansion der Luftarten (§ 18) führt auf die Annahme einer Expansionskraft als einer Kraft, durch welche sich die Körperteile wechselseitig abstoßen, und welche mithin der Kohäsionskraft entgegengesetzt ist. Als die Folge des Größenverhältnisses dieser beiden Kräfte kann man sich die drei Aggregatszustände der Körper (Festigkeit, Tropfbarkeit, Ausdehnsamkeit) und ihre verschiedenen Abstufungen denken. Bei einem festen Körper ist die Kohäsionskraft überwiegend, bei einem luftförmigen dagegen die Expansionskraft, während bei einem flüssigen Körper diese beiden Kräfte sich im Gleichgewichte befinden. Die Expansion wird gegenwärtig als eine Wirkung der Wärme betrachtet.

21. Adhäsion bezeichnet die wechselseitige Anziehung getrennter Körper, welche gleichartig oder ungleichartig, von gleichen oder verschiedenen Aggregatszuständen sein können, bei unmittelbarer Berührung. Die Körper adhärieren desto stärker, in je mehr Punkten sie sich berühren. Die Adhäsion ist eine Flächenanziehung.

Adhäsionsplatten. Wird eine bleierne Kugel in zwei Teile geschnitten, die Teile darauf an einander gedrückt, so bleiben sie an einander hängen. — Das Anhängen des Staubes an die Decken und Wände der Stuben, das Zeichnen und Schreiben mit Bleistiften, schwarzer Kreide, Rotstein, Pastellstiften. Das Vergolden, Verzinnen, Kitten, Löten, Siegeln, Lackieren, Anstreichen, Malen, Schreiben mit Tinte, Drucken, Lithographieren, Leimen, Kleistern, Mauern; wenn die vorher flüssigen Bindemittel fest werden, kann ein sehr fester und dauernder Zusammenhang erzielt werden. Das Naßwerden eines in Wasser getauchten Körpers, das Hinunterfließen des Wassers, Bieres 2c. am Rande des Glases beim Ausgießen. — Zwei Tropfen Wasser ziehen sich auf Öl- oder Wachspapier an und vereinigen sich zu einem größeren Tropfen, eben so zwei Quecksilbertropfen auf gewöhnlichem Papier — wenn feste Körper in flüssige eingetaucht werden, kommen Luftblasen in die Höhe, z. B. aus Zucker im Wasser. Die adhärierende Luft an den innern Wänden der Barometerröhre ist durch Kochen derselben herausgetrieben worden. — Die Gase haften in unendlich dünnen Schichten an

der Oberfläche fester Körper; doch ist diese Schicht nicht im Stande, eine zweite Schicht festzuhalten.

Vorzüglich merkwürdig ist die Adhäsion zwischen den festen und flüssigen Körpern. Es kann dabei nämlich die Kohäsion der Flüssigkeitsteile unter einander größer sein, als die Adhäsion zwischen dem festen Körper und der Flüssigkeit, oder es findet das Umgekehrte statt. Je nachdem dieses oder jenes der Fall ist, hängt sich die Flüssigkeit an den festen Körper und macht ihn naß oder nicht. Kleine Mengen der Flüssigkeit auf feste Körper gethan, zerfließen im ersten, und bilden Tropfen im zweiten Falle.

Wasser, Weingeist, Öle benetzen Metalle, Glas, Holz, Stricke, den menschlichen Körper; Wasser aber benetzt nicht befettete, mit Wachs überzogene, mit Bärlappsamen (Hexenmehl, semen lycopodii) bestreute oder bestaubte Körper; so wie Quecksilber alle Metalle (Eisen ausgenommen) benetzt (Amalgame), aber nicht Glas, Holz, Leinwand, Papier, Horn, Porzellan. — Die Ölfirnisse sind daher wasserabhaltend, sie machen wollene Zeuge und Filzhüte wasserdicht, wie das Wachs die Seide. Das in Steinkohlenöl, Steinöl, Terpentinöl ꝛc. aufgelöste Kautschuck macht Leder und Zeuge, auf welche es mit Pinseln gestrichen wird, wasserdicht. — Wasserfarben können auf keine fetten, Ölfarben auf keine nassen, festen Körper aufgetragen werden. Das Herabfließen des Wassers an der äußeren Seite des Glases, beim Ausgießen desselben, wird verhindert durch Bestreichen des Randes mit Fett.

Die Adhäsion fester Körper an nicht benetzende Flüssigkeiten, namentlich aber die Kohäsion benetzender Flüssigkeiten läßt sich bestimmen mittelst eines Wagebalkens, indem man gleich große Platten aus verschiedenen Materien an dem einen Arm desselben genau horizontal aufhängt und mit der Flüssigkeit in Berührung bringt, hierauf aber auf die Wageschale des anderen Armes so lange Gewichte auflegt, bis die Lostrennung der Platte erfolgt. Bei einer benetzenden Flüssigkeit erfolgt die Trennung nicht an der Berührungsfläche, sondern in der Flüssigkeit selbst, sodaß gleichsam die absolute Festigkeit derselben hierdurch gemessen wird. So erfordert nach Buijs-Ballot das Wasser zur Trennung seiner Teilchen bei mittlerer Temperatur eine Zugkraft von 0,5 g für jeden Quadratcentimeter.

Alle Flüssigkeiten, welche feste Körper benetzen, ziehen sich auch an diesen, wenn man sie zum Teil hineintaucht, in die Höhe, so daß eine solche Flüssigkeit unmittelbar um den zum Teil hineingetauchten festen Körper eine merkliche Erhöhung bildet; alle Flüssigkeiten dagegen, welche feste Körper nicht benetzen, ziehen sich an ihnen herab und bilden so Vertiefungen um einen in sie zum Teil eingetauchten Körper. Jene Flüssigkeiten haben in Gefäßen eine vertiefte (konkave), diese eine erhabene (konvexe) Oberfläche. Sind die Gefäße sehr weit, so zeigt sich die Konkavität oder Konvexität nur an den Rändern derselben durch eine schwache Erhöhung oder Erniedrigung der Flüssigkeit.

An einem ins Wasser gesteckten Glasstäbchen zieht sich das Wasser herauf: steckt man es dagegen in Quecksilber, so zieht sich dieses herab. Wasser in gläsernen Gefäßen hat eine konkave, Quecksilber aber eine konvexe Oberfläche; Wasser in einem mit Hexenmehl, Fett oder Wachs inwendig überzogenen Gefäße eine konvexe, wie Quecksilber in zinnernen Gefäßen eine konkave Oberfläche.

Diese Erscheinungen werden lediglich durch gleichzeitige Wirkung der Adhäsion und Kohäsion hervorgerufen. Ist die Adhäsion zwischen der Materie des festen Körpers oder des Gefäßes und der Flüssigkeit

stärker, als die Kohäsion der Flüssigkeitsteile, so findet dort eine Erhöhung der Flüssigkeit, bewirkt durch die über derselben sich befindende und sie anziehende Materie, statt, und hier, da es eine Erhöhung von allen Seiten geben muß, eine konkave Oberfläche. Im umgekehrten Falle ist auch die Erscheinung umgekehrt.

22. Sehr enge, an beiden Enden offene Röhrchen heißen Haarröhrchen (tubuli capillares). Wird ein solches Röhrchen zum Teil in eine Flüssigkeit getaucht, so sieht man diese innerhalb entweder höher oder niedriger als außerhalb stehen und in jenem Falle mit konkaver, in diesem mit konvexer Oberfläche. Die Erhöhungen und Erniedrigungen sind desto bedeutender, je enger die Röhrchen sind; und es finden jene statt, wenn die Flüssigkeit die Materie des Röhrchens netzt; diese, wenn dieses nicht der Fall ist.

Diese Erscheinungen heißen Kapillarphänomene (Haarröhrchen-Erscheinungen) und zwar unterscheiden wir dabei die Kapillar-Attraktion (Haarröhrchen-Anziehung), wenn die Flüssigkeit inwendig höher als auswendig steht, von der Kapillar-Depression (Haarröhrchen-Abstoßung), wenn sie inwendig niedriger als auswendig steht. Daß auch die Kapillarphänomene auf der Wirkung der Adhäsion und Kohäsion beruhen, ist besonders bei der Kapillar-Attraktion sehr leicht einzusehen. Zuerst erhebt sich nämlich die Flüssigkeit rings herum um den innern Rand der Röhre, weil die Materie derselben die Flüssigkeit stärker anzieht, als diese durch eigene Kohäsion zusammenhängt. Da das Röhrchen aber sehr enge ist, die Höhlung zwischen den Seitenerhebungen also noch enger, diese einander demnach sehr nahe sind, so tritt die Kohäsion der einander sehr nahen Flüssigkeitsmassen unter sich und ein Zusammenfließen ein. Hierauf wirkt von neuem die stärkere Adhäsion der Wände gegen die Flüssigkeit, dann die Kohäsion der Flüssigkeitsmassen unter sich, und so folgen Seitenerhebungen und Zusammenfließen abwechselnd auf einander, so lange bis das Gewicht der gehobenen Flüssigkeitssäule den hebenden Kräften der Röhrenwand über der Flüssigkeit das Gleichgewicht hält.

Die Poren fester Körper stehen in der Regel untereinander im Zusammenhang und bilden daher ein System von Kapillarröhren in den verschiedenartigsten Gestaltungen. Das Eindringen benetzender Flüssigkeiten in dieselben ist daher auch ein Fall der Kapillarattraktion.

Das Aufschwellen der Stricke, der Darmsaiten, des Holzes zc., wenn sie feucht werden; das Eindringen jeder Flüssigkeit in Schwamm, Löschpapier; das Naßwerden des Sandes, der Asche, der Erde, der Mauern durch darunter befindliches Wasser; das Hinaufsteigen des Wassers, der Milch zc. in Zucker, wenn auch nur ein kleiner Teil des letzteren in die Flüssigkeit gebracht wird; das Hinaufsteigen des Talges, Wachses, Öles in Licht- und Lampendochten und in engen Glasröhrchen, deren man sich statt der Dochte bedient. Das Hinüberbringen des Wassers aus einem Glase in ein anderes, mittelst eines aus rohem Flachse geflochtenen Zopfes u. s. w.

Quellendes Holz übt, wenn seinem Aufquellen Hindernisse in den Weg gesetzt werden, so große Gewalt aus, daß es metallene Bänder, Mühlsteine, ja Felsen sprengen kann. — Die Knochen der Schädel trennt man durch quellende

Erbsen. Wie macht man durch Trocknis locker gewordene Fässer brauchbar? Wie kann Holz mittelst Feuer und Wasser gekrümmt werden? Wie kann man das Aufschwellen des Holzes benutzen, um auf Holz erhabene Buchstaben anzubringen?

Trennt eine poröse Scheidewand (Thon- oder Gipsplatte, am besten eine organische Membran, wie Tierblase, Pergamentpapier u. s. w.) zwei verschiedene aber mischbare Flüssigkeiten, so durchdringen beide in entgegengesetzter Richtung, aber mit verschiedenen Geschwindigkeiten, diese Scheidewand. Dadurch muß in der einen Abteilung die Flüssigkeitsmenge sich vermehren, in der anderen entsprechend vermindern. Nach Dutrochet ist diese Erscheinung Endosmose und Exosmose, nach anderen Membran-Diffusion genannt worden. Die Geschwindigkeit der Durchdringung hängt von dem Benetzungsvermögen beider Flüssigkeiten gegen die Membran, sowie von der gegenseitigen Anziehungskraft der verschiedenen Flüssigkeitsteilchen ab. Manche Körper, wie Leim, Eiweiß, Gummiarabicum, Schleimzucker u. a. dringen in Lösung nur äußerst langsam oder gar nicht durch, während die meisten anderen Körper, namentlich die krystallisierbaren Stoffe, wie Salze, Rohrzucker u. a. leicht diffundieren. Hierauf gründet sich die Diffussions-Analyse oder Dialyse nach Graham, d. h. die Trennung leicht diffundierender Stoffe („Krystalloide") von nicht diffundierenden („Kolloide") in Tier- und Pflanzensäften. Auch bei gasförmigen Körpern finden ähnliche Erscheinungen statt (§ 124). Die Diffusions-Erscheinungen spielen eine Hauptrolle in dem Stoffwechsel der Tiere und Pflanzen.

23. Bei dem Übergange aus dem flüssigen oder luftförmigen Zustande in den festen zeigen sehr viele Körper das Bestreben, ihre Teilchen nach bestimmten geometrischen Gesetzen in ebenen Flächen zu ordnen, zu krystallisieren. In Abwesenheit aller störenden Einflüsse zeigen die hierbei entstehenden Krystalle eine allseitige Begrenzung durch ebene Flächen, meistens parallele Flächenpaare und mehr oder weniger vollkommene Spaltbarkeit in der Richtung einer, zweier, auch dreier Krystallflächen (Glimmer, Feldspat, Steinsalz, Bleiglanz). Die Krystallform der Mineralien, wie auch der künstlich dargestellten krystallisierbaren Stoffe ist für deren Erkennung ebenso charakteristisch, wie die Gestaltung und Anordnung der verschiedenen Organe für die Pflanzen- und Tierarten. Man teilt die Krystalle in sechs Abteilungen oder Krystall-Systeme ein. Gleiche Krystallformen verschiedener Stoffe deuten oft auf gleiche Gruppierung der verschiedenen Atome in den Molekülen: Isomorphismus. Doch zeigen auch zuweilen dieselben Stoffe verschiedene Anordnung der Moleküle und dadurch verschiedene Krystallformen: Dimorphismus, z. B. Kohlenstoff als Diamant und Graphit. Bei gestörter Ausbildung der einzelnen Krystalle erscheinen die Körper als Krystallgruppen (Schneeflocken z. B.) oder nur mit krystallinischer Struktur, wie Marmor, Alabaster, Zucker u. s. w. Körper, welche keine Spur von Krystallisation wahrnehmen lassen, werden amorphe Körper genannt, z. B. Glas, Harze, Gummi, Eiweiß u. s. w.

24. Schwere bezeichnet die Anziehung unserer Erde, welche sie

auf alle Körper, die sich auf ihr und in geringen Entfernungen von ihr befinden, ausübt. Sie macht, daß alle Körper, welche nicht unterstützt werden, zur Erde fallen, und zwar immer in einer Richtung, welche deshalb senkrechte oder lotrechte genannt wird (und mit der wagerechten Oberfläche der Erde (Wasserfläche) allseitig rechte Winkel bildet; weshalb ein fallender Körper, wenn er weiter fallen könnte, den Mittelpunkt der Erde, da sie ungefähr als eine Kugel betrachtet werden kann, erreichen müßte. Die Schwere treibt, sagt man, alle Körper nach dem Mittelpunkte der Erde, und die Richtungen der Schwere an verschiedenen Orten der Erde vereinigen sich also alle verlängert im Mittelpunkte derselben. Diese Richtungen der Schwere nimmt man jedoch, wenn die Orte nicht weit von einander entfernt sind, wegen des sehr großen Erdhalbmessers, als parallel an.

Die Anziehung der Erde offenbart sich nicht blos durch den Fall der Körper, sondern auch durch den Druck, welchen sie ausüben, wenn man sie auf die Hand oder überhaupt auf eine Unterlage bringt, so wie durch den Zug, durch welchen sie Faden und Seile, wenn jene aufgehangen werden, anspannen; in beiden Fällen wird das Fallen nur verhindert, aber das Bestreben der Körper, zu fallen, zeigt sich eben durch den Druck und Zug. Dieser Druck eines Körpers heißt sein Gewicht, welches desto größer ist, je mehr Masse er hat; so daß Gewicht und Masse eines Körpers im geraden Verhältnisse zu einander stehen.

Man unterscheidet absolutes und specifisches Gewicht. Das absolute Gewicht eines Körpers giebt an, welche Summe von Gewichtseinheiten dem Gewichte desselben gleich ist. Im Anschluß an das metrische Maßsystem ist als Grundeinheit für Gewichte das Gramm, das Gewicht eines Kubikcentimeters destillierten Wassers (bei + 4° C.) allgemein angenommen worden. Als Teilgewichte desselben dienen: das Decigramm (0,1 g), das Centigramm (0,01 g), das Milligramm (0,001g). Als größere Einheiten finden Anwendung: (Dekagramm = 10 g, Hektogramm = 100g) das Kilogramm (1000 g = 1 kg) und die Tonne (1000 kg = 1 t).

Das specifische Gewicht eines Körpers giebt an, in welchem Verhältnisse sein absolutes Gewicht zu dem eines gleichen Volumens Wasser steht.

Das absolute Gewicht wird immer durch benannte, das specifische dagegen immer durch unbenannte Zahlen ausgedrückt, z. B. dieses Brot wiegt 1 Kilogramm, das specifische Gewicht des Quecksilbers ist 13,6: ein Kubikcentimeter Quecksilber ist 13,6 mal so schwer, als ein Kubikcentimeter Wasser. Da die absoluten Gewichte der Kubikeinheiten Wasser die gebräuchlichen Gewichtseinheiten darstellen, so geben die specifischen Gewichte der Körper auch die absoluten Gewichte der entsprechenden Kubikeinheiten an. Bei Wasser ist 1 cc = 1 g, 1 l = 1 kg 1 kbm = 1 t; bei Quecksilber also 1 cc = 13,6 g, 1 l = 13,6 kg, 1 kbm = 13,6 t.

Alle Körper fallen unter dem alleinigen Einfluß der Schwere (Luftabschluß § 134. 12.) von derselben Höhe in genau derselben Zeit. Hieraus folgt nach Gesetzen der Mechanik, daß die Anziehungskraft der

Erde auf gleiche Massen der verschiedenartigsten Körper gleich stark einwirkt.

25. Die Ursache der Schwere ist eine der Materie inwohnende unveränderliche Kraft, welche Schwerkraft oder Gravitation genannt wird. Sie bewirkt eine gegenseitige Anziehung aller Körper, sowohl der auf der Erde befindlichen, wie auch der Himmelskörper untereinander, nach dem von Newton aufgestellten Gesetze: Alle Körper ziehen sich an und zwar im geraden Verhältnisse ihrer Massen und im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate ihrer Entfernungen. Die gegenseitige Anziehung der irdischen Körper ist ihrer geringen Größe wegen unter gewöhnlichen Umständen nicht wahrnehmbar; durch die sehr sorgfältigen Untersuchungen von Cavendish u. A. ist deren Vorhandensein und die Übereinstimmung ihrer Wirkung mit dem Newton'schen Gravitationsgesetze nachgewiesen worden. (S. ferner die §§ 61—65, 66—73, 83—87, 91—99.)

Die Sonne hat eine etwa 800 Mal größere Masse, als alle uns bis jetzt bekannten Planeten zusammen, und kann deshalb selbst den entferntesten derselben, den Neptun, der von ihr fast 780 Millionen Meilen entfernt ist, noch mächtig anziehen. — Der Mond, 60 Erdhalbmesser vom Mittelpunkte der Erde entfernt, wird daher von der Erde $60^2 = 3600$ Mal schwächer angezogen, als die auf der Oberfläche der Erde sich befindenden Körper. Die Schwere muß desto geringer sein, je näher wir uns dem Äquator auf der an den Polen abgeplatteten Erde und je höher wir uns in der Atmosphäre befinden. — Die Erscheinungen der Ebbe und Flut beruhen vorzugsweise auf der Anziehung, welche der Mond auf die Erde ausübt; auch die Sonne wirkt dabei, jedoch schwächer.

Zweiter Abschnitt.

Von der Ruhe und Bewegung im allgemeinen und von den Hindernissen der Bewegung.

26. Unter dem Orte eines Körpers versteht man den Raum, welchen er einnimmt. Der Raum, welchen der Körper einnehmen muß, weil er eben ein Körper ist, heißt sein absoluter, und der, in welchem er ist, in Bezug auf andere Körper, sein relativer Ort oder seine Lage.

27. Ein Körper ruht, wenn er in derselben Lage verbleibt, er bewegt sich, wenn er seine Lage ändert, oder: Ruhe eines Körpers ist Verbleiben in seiner Stellung zu anderen Körpern, Bewegung dagegen Veränderung dieser Stellung zu anderen Körpern. Wir kennen nur relative Ruhe und Bewegung. Unsere Urteile über Ruhe und Bewegung gründen sich aber oft auf Täuschungen; daher unterscheiden wir eine wahre und eine scheinbare Ruhe und Bewegung der Körper.

Alle Gegenstände am Ufer scheinen sich der Richtung der Bewegung des Schiffes entgegengesetzt zu bewegen; ein Gleiches findet statt, wenn man schnell, wie z. B. auf der Eisenbahn, vor einer Reihe von Bäumen vorüberfährt; die Sonne scheint sich zu bewegen und die Erde still zu stehen; wenn man sich schnell auf einem Fuße um sich selbst dreht, bewegen sich scheinbar die Stubenwände und die Gegenstände an ihnen um uns in entgegengesetzter Richtung. Ob es irgend einen Körper in absoluter Ruhe giebt, wissen wir nicht; unsere Sonne, welche man früher wohl als feststehend annahm, bewegt sich im Weltraume. — Der Nagel in einem segelnden Schiffe befindet sich in relativer Ruhe, aber in absoluter Bewegung.

28. Die Materie ist gleichgültig gegen Ruhe und Bewegung, d. h. von selbst gerät sie weder in Bewegung, wenn sie im Zustande der Ruhe, noch in Ruhe, wenn sie im Zustande der Bewegung ist; immer ist zu diesem Übergange aus dem einen Zustande in den entgegengesetzten eine Kraft, so wie zur Annahme des neuen Zustandes eine gewisse, wenn auch oft nur eine unmerkliche Zeit nötig. Man nennt diese Eigenschaft eines jeden Körpers, welche ein Hauptgesetz aller Bewegung ist, Beharrungsvermögen, weniger gut Trägheit (vis inertiae).

Einen ruhenden Wagen in Bewegung zu setzen, kostet mehr Kraftaufwand, als den schon bewegten in Bewegung zu erhalten; beim schnellen Laufen, besonders von einer Anhöhe herab, plötzlich stehen zu bleiben, ist sehr schwer; die Pferde sieht man beim Wettrennen immer über das festgesteckte Ziel hinausrennen.

Weil die Mitteilung der Bewegung und Ruhe Zeit erfordert, so können, wenn sich mehrere nicht im strengsten Sinne ein Ganzes ausmachende Körper bewegen, und der eine in Ruhe versetzt wird, die anderen dennoch eine kurze Zeit in der ursprünglichen Richtung ihre Bewegung fortsetzen, und im umgekehrten Falle umgekehrt. — Bleibt der Wagen beim Fahren plötzlich stehen, so schwanken wir mit dem Oberkörper vorwärts; so wie rückwärts, wenn der stillstehende Wagen plötzlich fortgezogen wird. Ziehen wir einen Teller, eine Schüssel, ein Glas, welche voll Wasser sind, schnell nach einer Seite hin, so fließt das Wasser auf der entgegengesetzten Seite zum Teil heraus. — Hängt an einer ruhenden Feder ein Tropfen Tinte, so fällt dieser bei plötzlicher Bewegung der Feder, am besten aufwärts, herab. Die auf ihrem Stiele locker gewordene Axt wird wieder fest, wenn man mit dem unteren Ende des Stieles der Axt mehrere Male auf einen harten Körper stößt. — Legt man ein Kartenblatt mit einem Geldstück auf ein Glas, und schnellt ersteres stark mit dem Finger von der Seite, so fliegt das Blatt weg, während das Geldstück auf der Stelle bleibt; aber, weil es nicht mehr unterstützt ist, ins Glas hineinfällt. — Wird ein thönernes Pfeifenrohr an zwei Haaren horizontal aufgehangen, so bricht der Stiel und die Haare bleiben ganz, wenn man stark auf die Mitte des Stieles schlägt; die Haare aber reißen und der Stiel bleibt ganz, wenn man ihn in der Mitte langsam zu drücken anfängt, und immer stärker drückt. Eine bleierne Kugel nach einer Glasscheibe geworfen, zertrümmert sie; auf sie geschossen, verursacht sie nur ein rundes Loch. Mohnköpfe können durch einen kräftigen Hieb mit einem Stocke abgeschlagen werden, ohne daß die Stengel wanken; so wie schon manchem Infanteristen durch eine Flintenkugel das Gewehr zerschlagen wurde, ohne daß er es merkte.

29. Bei jeder Bewegung hat man seine Aufmerksamkeit vorzugsweise zu wenden auf: a) die Ursachen der Bewegung, b) die Richtung der Bewegung, c) den zurückgelegten Weg, d) die Zeit, e) die Geschwindigkeit und f) die Größe der Bewegung.

30. Die Ursachen der Bewegung sind Kräfte. Kräfte sind aber in der Physik alle Arten von Anziehungen (Kohäsion, Adhäsion, Schwere, Elektricität, Magnetismus ꝛc.), Stoß durch schon bewegte Körper (Wasser- und Windmühlen), Gewichte der Körper, Elasticität (Stahlfedern), Wärme, Expansion der Dämpfe (Dampfmaschinen), Muskelkraft der Tiere und Menschen. Die Kräfte wirken entweder momentan (augenblicklich), wie der Stoß, oder kontinuierlich (beständig, stetig), wie die Schwere. Die Kräfte können nur aus ihren Wirkungen beurteilt werden. Das Maß derselben wird entweder durch Zahlen oder durch gerade Linien dargestellt, in der Art, daß das Zeichen für eine zwei, drei Mal ꝛc. so große Kraft auch eine zwei, drei Mal u. s. w. so große Zahl oder gerade Linie ist, wobei das Maß oder die Einheit ganz willkürlich ist.

31. Die Richtung der Kraft wird immer durch eine gerade Linie dargestellt. Sie ist diejenige gerade Linie, welche man sich von einem bewegten Punkte nach demjenigen Orte, wohin er zu gehen angetrieben wird, gezogen denkt. Die Bewegung selbst heißt aber geradlinig oder krummlinig, je nachdem sie immer dieselbe Richtung behält oder in jedem Augenblicke eine andere annimmt. Die gerade Linie kann also bei der Bewegung Doppeltes auf ein Mal darstellen: 1) Die Richtung überhaupt, wobei sie unbegrenzt gedacht werden kann, 2) die Größe der Kraft oder die Stärke der Bewegung, wobei sie stets begrenzt sein muß.

32. Der zurückgelegte Weg, der durchlaufene Raum oder die Bahn eines bewegten Körpers ist die Linie, welche der Punkt durchläuft, in welchem man sich die Masse des Körpers konzentriert denkt. Wenn auch in der Mathematik unter Entfernung zweier Punkte immer die gerade Linie zwischen denselben verstanden wird, so ist doch hier in der Physik der zurückgelegte Weg eine gerade Linie nur bei der geradlinigen, eine krumme aber bei der krummlinigen Bewegung. Bei dieser letzteren wird die Richtung der Kraft in irgend einem Punkte der Bahn durch die Tangente desselben angegeben, während bei jener die gerade Linie, welche die Bahn vorstellt, auch zugleich die Richtung angiebt. Da ein bewegter Körper die verschiedenen Orte des zurückgelegten Weges nicht auf einmal, sondern nur nach und nach einnehmen kann, so erfordert auch jede Bewegung eine gewisse Zeit. Die Maße des zurückgelegten Weges sind die gebräuchlichen Längenmaße (§ 13); die der Zeit dagegen: Sekunden, Minuten, Stunden, Monate, Jahre u. s. w.

33. Geschwindigkeit der Bewegung ist das Verhältnis des Raumes, den ein Körper durchläuft, zu der Zeit, die er dazu nötig hat. Von zwei Körpern bewegt sich derjenige geschwinder oder schneller, welcher denselben Raum in kürzerer Zeit, oder welcher in derselben Zeit einen größeren Raum zurücklegt. Man bezieht in der Physik bei der Bestimmung der Geschwindigkeit die Räume auf eine Zeiteinheit, welche meist die Sekunde ist; so nennt man die Geschwindigkeit oder

eigentlich das Maß derselben: den in einer Sekunde zurückgelegten Raum. Weiß man daher, einen wie großen Raum ein bewegter Körper in einer gewissen Zeit durchlaufen hat, so hat man, um seine Geschwindigkeit zu finden, nur nötig, den Zahlenausdruck des Raumes mit dem Zahlenausdrucke der Zeit, in Sekunden verwandelt, zu dividieren, und daher steht, wenn C die Geschwindigkeit, S den Raum und T die Zeit bedeutet, die Formel:

$$C = \frac{S}{T}, \text{ woraus folgt } S = CT \text{ und } T = \frac{S}{C}, \text{ d. h. — ?}$$

Welche Geschwindigkeit hat ein Körper, wenn er in 2 Minuten 960 m zurücklegt? (8 m). — Einen wie großen Raum legt ein Körper in 6 Minuten mit der Geschwindigkeit von 5 m zurück? (1800 m). — In welcher Zeit wird ein Körper einen Raum von 1260 m mit der Geschwindigkeit von 7 m zurücklegen? (3 M.)

Die Geschwindigkeit eines Fußgängers, der in 5 Stunden 3 Meilen zurücklegt, ist $^{22500}/_{18000} = 1$ m 25 cm; eines Postwagens, der zu einer Meile 50 Minuten braucht, 2,5 m; eines gewöhnlichen Windes 3 m; eines schnell segelnden Schiffes 5 m; eines Dampfwagens, welcher in einer Stunde 6 Meilen zurücklegt, 13 m; eines Sturmes 17 m; eines Orkans 25 bis 40 m; einer Kanonenkugel 200 m; des Schalles 330 m; eines Punktes der Erde am Äquator 463 m; einer Büchsenkugel 472 m; einer 24pfündigen Kanonenkugel 721 m; der Erde auf ihrer Bahn 4 Meilen, des Lichtes 40,000 Meilen, die der Elektricität wahrscheinlich über 60,000 Meilen.

Betrachtet man die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers für sich, wie jetzt geschehen, so heißt sie absolut; vergleicht man aber die Geschwindigkeiten mehrerer sich bewegender Körper unter einander, so nennt man sie relative Geschwindigkeiten. Die Geschwindigkeiten zweier bewegter Körper verhalten sich zu einander, wie die Räume, dividiert durch die Zeiten, oder:

$$C : c = \frac{S}{T} : \frac{s}{t},$$

$$\left.\begin{array}{l}\text{und wenn } T = t \text{ ist, } C : c = S : s\\ \text{und wenn } S = s \text{ ist, } C : c = t : T\end{array}\right\} \text{ d. h. — ?}$$

Auf ähnliche Weise folgen aus:

$S : s = CT : ct$ sowohl $S : s = C : c$ als auch $S : s = T : t$; und aus

$T : t = \frac{S}{C} : \frac{s}{c}$ sowohl $T : t = S : s$ als auch $T : t = c : C$, d. h. — ?

Wie verhalten sich die Geschwindigkeiten zweier Körper, von denen der eine 80 m in 10 Sekunden, der andere 2400 m in 1 M. zurücklegt? (1 : 5, d. h. — ?) Wie verhalten sich ihre Geschwindigkeiten, wenn der eine 40 m, der andere 10 m in derselben Zeit zurücklegt? (4 : 1), und wie, wenn der eine 20 Sekunden, der andere 2 M. über demselben Wege zubringt? (6 : 1).

In Bezug auf die Geschwindigkeit ist die Bewegung gleichförmig, wenn die Geschwindigkeit unverändert dieselbe bleibt, wenn der Körper in jeder Sekunde einen gleich großen Raum durchläuft; ungleichförmig, wenn sie beständig der Veränderung unterworfen ist. Die ungleichförmige Bewegung ist wieder beschleunigt (acceleriert) oder verzögert (retardiert), je nachdem die Geschwindigkeit immerfort zu- oder abnimmt, und jede von ihnen wiederum gleich- oder un-

gleichmäßig beschleunigt oder verzögert, je nachdem die Beschleunigung zu- oder abnimmt, wie die Zeit, d. h. so, daß sie in einer zwei, drei Mal u. s. w. so großen Zeit auch zwei, drei Mal u. s. w. so groß oder so klein ist, oder in einem anderen Verhältnisse.

Bei der ungleichförmigen Bewegung kann man nur die Geschwindigkeit eines bestimmten Augenblickes angeben, wie z. B. beim freien Falle der Körper (§ 69) am Ende der 3., 4. Sekunde. Eine gleichförmige Bewegung in der Natur ist die Drehung der Erde um ihre Achse; Maschinen können sich nur annähernd gleichförmig bewegen; gleichmäßig beschleunigte Bewegungen sind der freie Fall der Körper und der Fall der Körper auf der schiefen Ebene; gleichmäßig verzögerte die Bewegungen: senkrecht in die Höhe und auf einer schiefen Ebene hinauf geworfener Körper; ungleichmäßig doch immerhin noch regelmäßig beschleunigte und verzögerte Bewegungen sind die Pendelschwingungen.

34. Größe oder Quantität der Bewegung (Kraftmoment, Bewegungsmoment) bezeichnet die Kraft, mit welcher ein bewegter Körper auf einen anderen, indem er ihn trifft, wirkt. Es ist von selbst einleuchtend, daß die Größe der Bewegung sowohl mit der Masse, als auch mit der Geschwindigkeit des bewegten Körpers gleichmäßig zu- und abnimmt; man sagt daher: die Größe der Bewegung steht im geraden Verhältnisse der Masse und der Geschwindigkeit.

Die Größen der Bewegung zweier Körper verhalten sich also zu einander, wie die Produkte aus ihren Massen und Geschwindigkeiten, oder:

$$Q : q = MC : mc.$$

Wenn ein Mal $M = m$, das andere Mal $C = c$ gesetzt wird, erhält man:

$$Q : q = C : c \text{ und } Q : q = M : m, \text{ d. h. } — ?$$

Setzt man $Q = q$ in die Proportion $Q : q = MC : mc$, so muß auch $MC = mc$ sein, woraus folgt:

$$\text{entweder } M = m \text{ und } C = c$$
$$\text{oder } M : m = c : C,$$

d. h. zwei Körper haben nicht nur bei gleichen Massen und gleichen Geschwindigkeiten gleiche Größen der Bewegung, sondern auch dann, wenn sich ihre Massen zu einander verhalten, wie umgekehrt ihre Geschwindigkeiten. Die Wirkung, welche ein bewegter Körper ausübt, muß offenbar im geraden Verhältnisse zu seiner Größe der Bewegung stehen; es verhalten sich mithin auch die Wirkungen bewegter Körper zu einander, wie die Produkte aus ihren Massen und Geschwindigkeiten.

Eiserne Kugeln von 20, 30, 60 Kilogramm werden, wenn sie sich in derselben Ordnung mit der Geschwindigkeit von 3, 2 und 1 Meter bewegen, gleich stark wirken wegen $3 . 20 = 2 . 30 = 1 . 60$. Der Stoß eines schweren Körpers kann daher selbst bei unbedeutender Geschwindigkeit, so wie der Stoß eines zwar leichten Körpers bei bedeutender Geschwindigkeit sehr große Wirkungen hervorbringen.

35. Die relativen Geschwindigkeiten lassen sich nicht nur aus dem Raume und der Zeit (33), sondern auch aus der Masse und den be-

wegenden Kräften bestimmen. Die Geschwindigkeit überhaupt steht im geraden Verhältnisse zur Kraft und im umgekehrten Verhältnisse zur Masse; die relativen Geschwindigkeiten verhalten sich daher zu einander, wie die Kräfte, dividiert durch die Massen, oder:

$$C : c = \frac{V}{M} : \frac{v}{m}$$

und wenn ein Mal $M = m$, das andere Mal $V = v$ gesetzt wird:

$$C : c = V : v \text{ und } C : c = m : M, \text{ d. h. } -?$$

36. So wie die Bewegung der Richtung nach gerade- oder krummlinig, der Geschwindigkeit nach gleich- oder ungleichförmig mit den verschiedensten Abstufungen ist, so ist sie hinsichtlich der sie hervorbringenden Kräfte einfach oder zusammengesetzt, je nachdem der Körper durch eine oder durch mehrere Kräfte in Bewegung gesetzt worden ist. Heben sich die Wirkungen mehrerer Kräfte so auf, daß keine Bewegung entsteht, so sagt man: die Kräfte setzen einander ins Gleichgewicht, oder: die Kräfte sind im Gleichgewichte.

Wirken zwei Kräfte auf einen Körper, so fallen ihre Richtungen entweder in eine einzige gerade Linie, wobei sie nach derselben oder nach entgegengesetzten Seiten hin wirken können, oder sie schließen einen Winkel ein. Die Wirkungen mehrerer Kräfte lassen sich immer auf eine Kraft zurückführen.

37. Wirken zwei Kräfte in einer geraden Linie und zwar: a) nach derselben Richtung hin, so geht der Körper in der gemeinschaftlichen Richtung der Kräfte vorwärts und zwar mit einer ihrer Summe proportionalen Geschwindigkeit; b) nach entgegengesetzten Richtungen, so setzen sie sich, wenn die Kräfte gleich sind, ins Gleichgewicht; erzeugen aber eine Bewegung, wenn sie ungleich sind, in der Richtung der größeren Kraft, mit einer der Differenz der Kräfte proportionalen Geschwindigkeit.

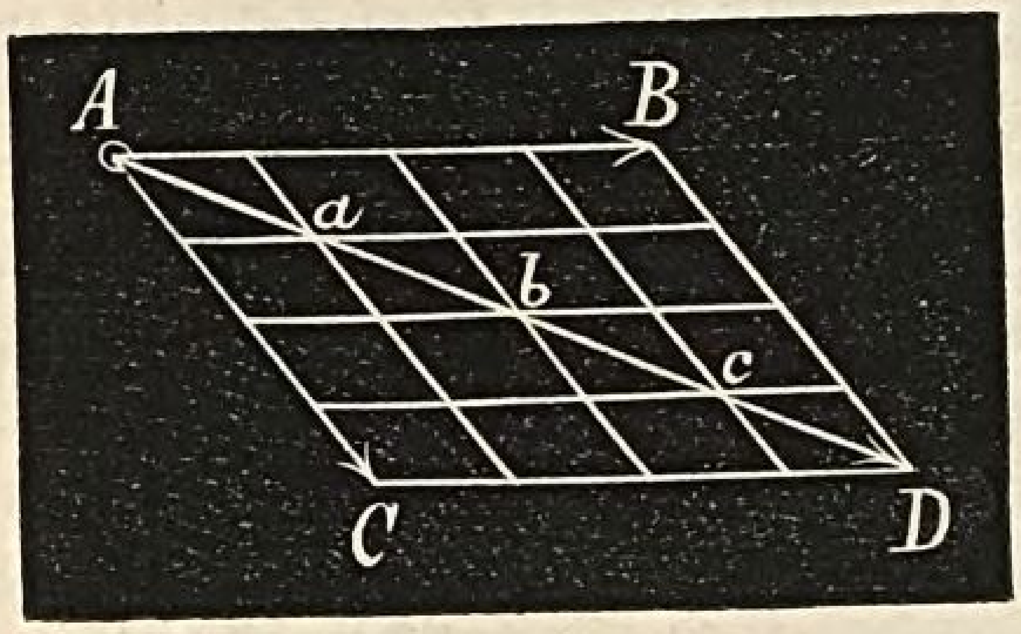
Wenn eine Kraft einem Körper für sich allein eine Geschwindigkeit von 3 m, eine andere für sich allein eine Geschwindigkeit von 5 m mitteilen würde, mit welcher Geschwindigkeit und in welcher Richtung bewegt sich der Körper, wenn beide auf einmal auf ihn wirken, 1) im Falle a? 2) im Falle b?

Immer bleibt hier die Wirkung so, als gäbe es nur eine Kraft, selbst wenn statt zweier Kräfte mehrere gedacht werden; deshalb wird dieser Fall noch nicht zur zusammengesetzten Bewegung gerechnet, sondern darunter vorzugsweise nur derjenige verstanden, wo die Richtungen der Kräfte Winkel bilden.

38. Wenn zwei Kräfte unter einem Winkel auf einen Körper gleichzeitig wirken, so fragt sich auch hier: 1) in welcher Richtung, 2) mit welcher Stärke oder Geschwindigkeit geht der Körper vorwärts? Da er durch beide Kräfte in seiner Bewegung bestimmt werden muß, so kann er weder in der Richtung der einen noch der anderen, so wie weder mit der Geschwindigkeit der einen noch der anderen fortgehen. Man findet aber beides, indem man sowohl die Richtungen, als auch

die Stärke der Kräfte durch gerade Linien darstellt, nach geometrischen Gründen aus diesen zwei Linien und dem von ihnen eingeschlossenen Winkel ein Parallelogramm verzeichnet, und die Diagonale aus dem Wirkungspunkte der Kräfte zieht. Diese Diagonale giebt sowohl die Richtung, als auch die Geschwindigkeit an, in und mit welcher der Körper fortgeht.

Figur 1.



Dieses Gesetz läßt sich so verdeutlichen: Die gleichzeitige Einwirkung zweier Kräfte auf den Körper in Figur 1, welcher der einen Kraft folgend, von A bis B, und der andern folgend, in gleicher Zeit von A bis C kommen würde, muß denselben Erfolg haben, wie wenn er sich auf der Linie AB vom Anfange A bis zum Ende B bewegte, gleichzeitig aber die Linie AB selbst, sich parallel bleibend, so fortrückte, daß sie, indem A in der AC bleibt, in die Lage CD in dem Augenblicke gelangte, in welchem der Körper auf der sich bewegenden Linie AB den Punkt B erreicht. Es hat dann der Körper den Weg AD zurückgelegt in der Zeit, in welcher er durch die eine Kraft allein auf der AB von A bis B, durch die andere allein auf der AC von A bis C gekommen wäre, so wie er sich nach Verlauf des vierten Teiles der Zeit in a, der Hälfte in b ꝛc. befunden hat, wenn AB und AC in vier gleiche Teile geteilt gedacht werden. Man kann auch von der Vorstellung ausgehen, der Körper bewege sich auf der AC und diese rücke in der angegebenen Art nach BD weiter. Der Erfolg der gleichzeitigen Wirkung der beiden Kräfte in einer bestimmten Zeiteinheit ist also genau derselbe, wie wenn der Körper zuerst nur der Einwirkung der einen Kraft in dieser Zeiteinheit folgte (z. B. von A nach B gelangte), in der darauf folgenden Zeiteinheit dagegen nur wieder der anderen (also von B nach D gelangte). Wohin also die beiden Kräfte, nach einander wirkend, den Körper auf den Wegen AB und BD bringen, dahin bringen sie ihn auch, gleichzeitig wirkend, in der Hälfte der Zeit auf dem kürzeren Wege AD, nämlich nach D.

Man nennt diese Konstruktion in der Physik das Parallelogramm der Kräfte. Die ursprünglichen zwei Kräfte, deren Richtungen benachbarte Seiten des Parallelogramms bilden, heißen Seitenkräfte, auch zusammenwirkende oder zusammensetzende Kräfte; so wie die durch ihre Zusammensetzung entstandene, deren Richtung die Diagonale angiebt, die Mittelkraft, zusammengesetzte oder resultierende Kraft.

Der Erfolg ist genau derselbe, ob die Mittelkraft allein in ihrer Richtung oder die Seitenkräfte zusammen in den ihrigen auf einen Körper wirken. Genau in der Mitte zwischen den Richtungen der Seitenkräfte geht der Körper nur dann, wenn diese einander gleich sind. Bilden die Richtungen der Seitenkräfte einen rechten Winkel, so kann man mit Hilfe des pythagoreischen Lehrsatzes aus der Größe der Seitenkräfte die der Mittelkraft durch Rechnung finden; wären jene 3 und 4, so ist diese $= \sqrt{(3^2 + 4^2)} = \sqrt{25} = 5$; ist jener Winkel ein schiefer, z. B. $= x$, und die einschließenden Seiten a und b, so ist nach trigonometrischen Gründen die Mittelkraft =

$$\sqrt{[a^2 + b^2 - 2\,a\,b \cos(180^0 - x)]}$$

$= \sqrt{(a^2 + b^2 + 2\,a\,b \cos x)}$, also bei $a = 3$, $b = 4$, $x = 60^0$, $= \sqrt{(3^2 + 4^2 + 2.\,3.\,4.\,{}^1/_2)} = \sqrt{37} = 6{,}08\ldots$ Die Mittelkraft ist immer kleiner, als die Summe der beiden Seitenkräfte, und zwar desto kleiner, unter einem je größeren Winkel die letzteren wirken. Wäre der Winkel $= 120^0$, so würde die Mittelkraft $\sqrt{13} = 3{,}6$. — Eberhard's Diagonalmaschine.

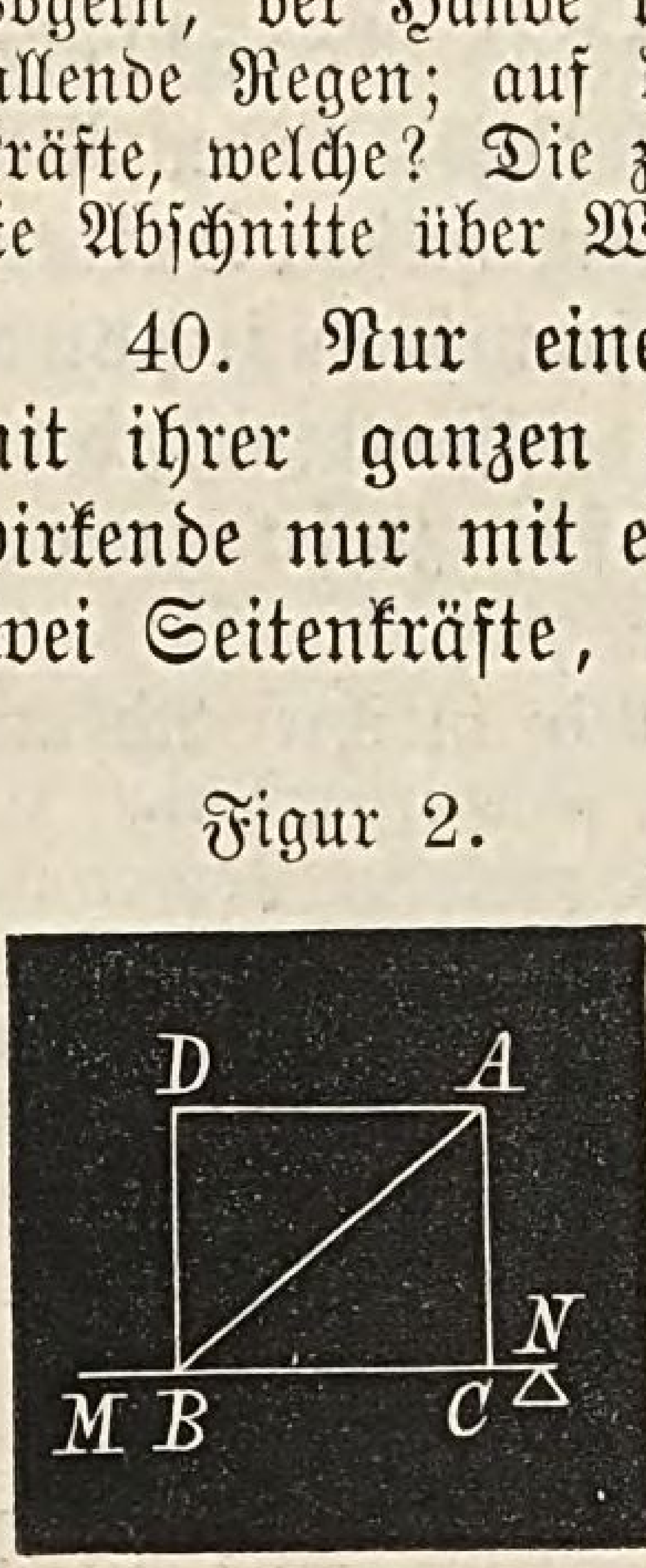
39. Das Parallelogramm der Kräfte wird auf zwei von einander verschiedene Arten gebraucht: 1) zur Zusammensetzung der Kräfte, wenn eine Kraft ihrer Richtung und Größe nach gefunden werden soll, die allein so viel wirkt, als zwei oder mehrere ebenfalls ihrer Richtung und Größe nach gegebene Kräfte, 2) zur Zerlegung der Kräfte, wenn zwei oder mehrere Kräfte ihrer Richtung und Größe nach gefunden werden sollen, die genau dieselbe Wirkung hervorbringen, als eine ebenfalls ihrer Richtung und Größe nach gegebene Kraft.

Wie setzt man durch wiederholte Konstruktion des Parallelogramms drei, vier und mehrere Kräfte in eine zusammen? Zwei unter einem Winkel wirkende Kräfte können einander nie ins Gleichgewicht setzen, wohl aber drei, wenn die Mittelkraft aus zweien gleich ist und entgegensetzt wirkt der dritten; vier, wenn die Mittelkraft aus dreien der vierten, oder auch die Mittelkraft des einen Paares der Mittelkraft des anderen Paares gleich und entgegengesetzt wirkend ist u. s. w. Die Zerlegung einer Kraft in zwei wird bewirkt, wenn man aus einem Endpunkte der die Mittelkraft darstellenden Linie zwei Linien auf den entgegengesetzten Seiten derselben zieht, doch so, daß der von ihnen gebildete Winkel kleiner als 180° ist, und nun aus dem anderen Endpunkte zu jenen Linien Parallellinien legt, und zwar so, daß die auf der einen Seite der Mittelkraft immer parallel ist zu der auf der anderen. Durch Wiederholung dieses Verfahrens läßt sich eine Kraft leicht in drei, vier und mehrere Kräfte zerlegen.

Beispiele von zusammengesetzter Bewegung sind: Ein Kahn auf einem Flusse, von zwei oder mehreren an den entgegengesetzten Ufern gehenden Menschen mittelst Stricken gezogen; wobei, wenn mehrere Menschen an besonderen Nebenseilen desselben Hauptseiles ziehen, die Nebenseile mit dem Hauptseile möglichst kleine Winkel bilden müssen, um die möglichst größte Mittelkraft zu erhalten. Ein quer über einen Fluß segelnder Kahn; ein Ball, mit dem man auf einem segelnden Kahne spielt; ein vom Mastbaume eines segelnden Schiffes herabfallender Ball; jeder geworfene Körper; viele Künste der Seiltänzer und spanischen Reiter; der Gebrauch der Flossen bei den Fischen; der Flügel bei den Vögeln, der Hände und Füße beim schwimmenden Menschen; der schief herabfallende Regen; auf die bei windigem Wetter abgeschossene Kugel wirken drei Kräfte, welche? Die zusammengesetzte Bewegung kann auch krummlinig sein, wie die Abschnitte über Wurf- und Centralbewegung zeigen.

40. Nur eine auf eine Ebene senkrecht wirkende Kraft wirkt mit ihrer ganzen Stärke zur Fortbewegung der Ebene, jede schief wirkende nur mit einem Teile; was sich durch Zerlegung derselben in zwei Seitenkräfte, von denen die eine auf die Ebene senkrecht ist, die andere dagegen in sie hineinfällt, zeigen läßt. Jene wirkt ganz, diese geht für den bestimmten Zweck verloren. Sollte z. B. in Fig. 2 ein Stab MN um den festen Punkt N von oben herab bewegt werden durch eine Kraft, deren Richtung und Größe die schiefe Linie AB angiebt, so fälle man von A auf MN den Perpendikel AC, errichte in B den Perpendikel DB und ziehe AD ⌗ BC, so ist AB zerlegt in AD und AC, welche wir uns im Punkte B wirkend denken, und zwar AC = DB senkrecht herab, AD = CB längs MB von B nach M; nur die erste bewirkt die bezweckte Bewegung; aber die Kathete AC < ihre Hypotenuse AB, der Verlust beträgt also AB—AC.

Figur 2.



Die Figur zeigt, daß es bei dieser Zerlegung nicht nötig ist, das Parallelogramm zu zeichnen, sondern daß die Ziehung des Perpendikels AC hinlänglich ist, da BC = AD ist; AC giebt die senkrecht, BC hier die horizontal wirkende Kraft an. — Wäre die schiefwirkende Kraft = 6 kg, so teile man die beliebig große AB in 6 gleiche Teile, ziehe AC und sehe mit dem Zirkel nach, wie viel sie solcher Teile enthält; die erhaltene Zahl giebt die Anzahl Kilogramme an, mit denen jene längs AB schief wirkende Kraft in B senkrecht herabdrückt. — Wäre außer der schief wirkenden Kraft auch der Winkel ABC, unter dem sie wirkt, gegeben, so wäre $AC = AB \sin ABC$ und $BC = AB \cos ABC$, also bei $AB = 6$ kg und $ABC = 30^0$, $AC = 6 \cdot {}^1/_2 = 3$ kg und $BC = 6 \sqrt{{}^3/_4} = 3 \sqrt{3} = 3 \cdot 1{,}73\ldots = 5{,}19\ldots$, auch ist $3^2 + (3 \sqrt{3})^2 = 6^2$.

Eben so leicht ist einzusehen, daß, wenn eine Last von M nach N durch BA gezogen werden sollte, diese nicht stärker wirken würde, als die horizontale BC, mithin BA—BC verloren ginge.

Wirkung des Steuerruders und der Segel.

41. Zu den **Hindernissen der Bewegung** rechnet man in der Physik vorzugsweise die **Reibung**, den **Widerstand des Mittels** und die **Unbiegsamkeit** oder **Steifigkeit der Stricke**. Vorzüglich wichtig sind die beiden ersten, weil sie bei jeder Bewegung entweder einzeln oder gemeinschaftlich derselben hindernd in den Weg treten.

Die **Reibung** (Friktion) ist besonders die Folge der bei jeder noch so glatten Fläche stattfindenden Erhabenheiten und Vertiefungen. Wird nämlich ein Körper über einen anderen fortbewegt, so füllen gleichsam die Erhabenheiten des einen die Vertiefungen des anderen aus, wodurch, indem jene aus diesen hervorgehoben werden müssen, die Bewegung langsamer werden muß, und endlich sogar aufhören kann. Die Reibung ist ein desto größeres Hindernis der Bewegung, je unebener die Körper sind; man vermindert daher ihre Gegenwirkung 1) durch Glätten oder Polieren der Körper, 2) durch Ausfüllen der Vertiefungen mit Öl, Fett, Wasser u. s. w. und 3) durch Verwandlung der schleifenden oder gleitenden Bewegung in eine rollende oder wälzende. Auch ist, wie leicht begreiflich, bei der Reibung die Adhäsion von Einfluß. Oft ist uns die Reibung auch sehr nützlich, und wir vermehren sie deshalb absichtlich, besonders bei ruhenden Körpern.

Bei Eisenbahnen giebt es weniger Reibung, als auf dem natürlichen Wege; bei den Dampfwagen auf Eisenbahnen läßt sich die Reibung auf $^1/_{250}$ der Last vermindern, während sie auf den Chausseen bei trockener Witterung $^1/_{20}$, bei nasser $^1/_{10}$ der Last beträgt; die Wagenräder werden mit Fett, so wie die Zapfenlöcher bei den Maschinen mit Öl u. s. w. eingeschmiert. — Große Lasten bewegt man auf Walzen oder Kugeln. — Der Nutzen der Räder an den Wagen. — An den Wagenrädern findet wälzende und gleitende Reibung statt, jene an den Peripherien, diese an den Achsen. — Schlittschuhlaufen, Eisfahrten. — Durch die Hemmschuhe der Fuhrleute im Gebirge wird die rollende oder wälzende Bewegung in eine gleitende oder schleifende verwandelt. Der Violinbogen wird mit Kolophonium bestrichen; glatte Stellen im Winter, die Eisenbahnschienen bei Glatteis, werden mit Sand oder Asche bestreut; die Seiltänzer kreiden vor dem Tanzen die Schuhsolen ein; ohne Reibung könnten wir nicht gehen, nichts halten,

weder mit der Hand, noch mit einer Zange, auch nicht einmal fest stehen; so wie ohne Reibung kein Paket mit Stricken festgebunden werden könnte, alle Gegenstände auf der Straße durch den Wind fortbewegt und die Steine von den Abhängen der Berge leicht heruntergleiten würden..

Die Luft und das Wasser werden einem in ihnen sich bewegenden Körper dadurch ein Hindernis der Bewegung, daß sie von ihm immer erst auf die Seite geschoben werden müssen, ehe er vorwärts kommen kann, und dadurch seine Geschwindigkeit mindern. Dieses Hindernis der Bewegung, ausgeübt von einem flüssigen oder luftförmigen Körper auf den in ihm sich bewegenden Körper, heißt der Widerstand des Mittels. Er ist desto größer 1) je dichter das Mittel ist, 2) je schneller sich der Körper bewegt und 3) je größer die das Mittel zerteilende Fläche ist. Auch der Widerstand des Mittels ist uns oft nützlich, weßhalb nicht selten besondere Vorrichtungen zu seiner Vergrößerung getroffen werden.

Es ist schwerer, im Wasser als in der Luft zu gehen, und die Körper fallen im Wasser langsamer, als in der Luft; beim schnellen Laufen fühlen wir den Widerstand der Luft, und beim Fahren auf den Eisenbahnen ist er sehr merklich, während er beim langsamen Gehen kaum fühlbar ist; die Schiffe laufen an dem Ende, das vorwärts geht, spitz zu, so wie die Linse bei dem Perpendikel der Wanduhren am Rande zugeschärft ist. — Der in der Atmosphäre fallende Körper fällt langsamer und erreicht deshalb später die Erde, als er sie im luftleeren Raume erreichen würde; auch schlägt er weniger stark auf. (Wasserhammer). Der Nutzen des Widerstandes zeigt sich beim Schwimmen, beim Rudern, beim Fliegen der Vögel, beim Fallschirme u. s. w.

Die Steifigkeit der Stricke ist überall, wo Rollen vorkommen, ein Hindernis der Bewegung. —

42. Da durch die Einwirkung der Kräfte auf einen Körper entweder Gleichgewicht oder Bewegung entsteht, so zerfallen die Betrachtungen der Körper, insofern Kräfte auf sie einwirken, in zwei Abschnitte, in die Statik (Gleichgewichtslehre), die es mit dem Gleichgewichte, und in die Dynamik (Bewegungslehre), die es mit der Bewegung der Körper zu thun hat. Statik und Dynamik bilden die Mechanik. Je nachdem wieder blos feste, flüssige oder luftförmige Körper betrachtet werden, giebt es 1) eine Statik im engeren Sinne, als die Lehre vom Gleichgewichte fester Körper, 2) eine Hydrostatik, als die Lehre vom Gleichgewichte flüssiger Körper, 3) eine Aerostatik, als die Lehre vom Gleichgewichte luftförmiger Körper, 4) eine Dynamik oder Mechanik im engeren Sinne, als die Lehre von der Bewegung fester Körper; 5) eine Hydrodynamik oder Hydraulik, als die Lehre von der Bewegung flüssiger Körper, 6) eine Aerodynamik oder Pneumatik, als die Lehre von der Bewegung luftförmiger Körper, welche sechs Abschnitte hier, wie es in einem Lehrbuche der Statik und Dynamik sein müßte, nicht aufs strengste geschieden vorkommen.

Dritter Abschnitt.

Von den festen Körpern.

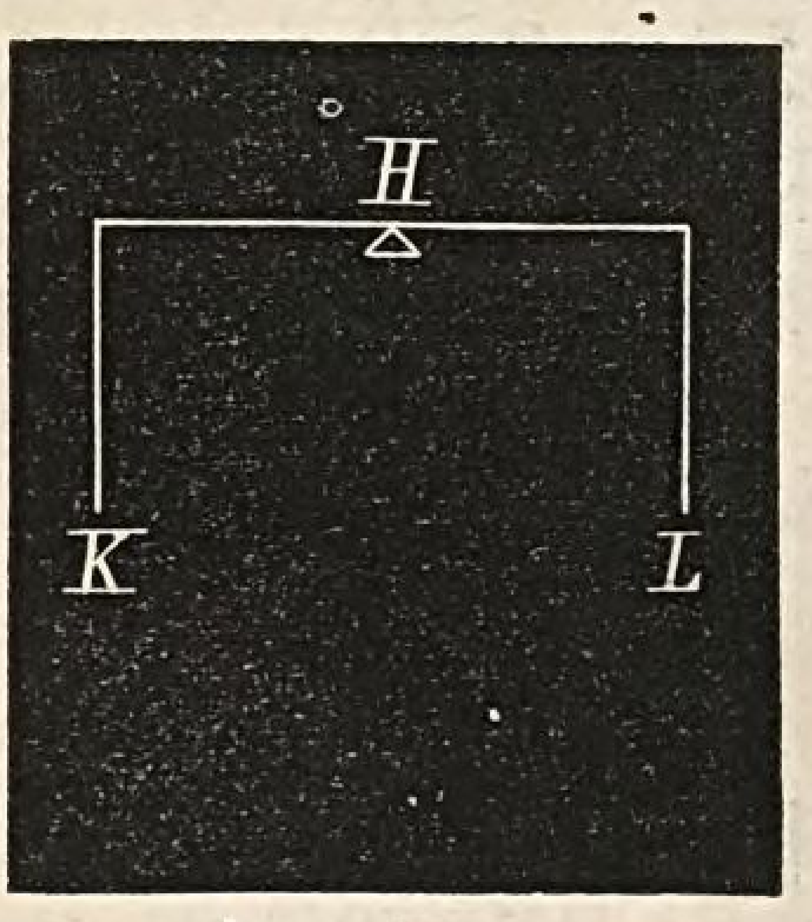
1. Von dem Hebel.

43. Jeder beliebige, unbiegsame Stab, oder jeder feste Körper überhaupt, in irgend einem Punkte unterstützt, auf welchen in beliebigen Angriffspunkten Kräfte wirken, die ihn um den Unterstützungspunkt nach entgegengesetzten Richtungen zu drehen das Bestreben haben, heißt ein physischer oder zusammengesetzter Hebel. Denkt man sich aber statt des Körpers eine unbiegsame, schwerlose Linie, so hat man den mathematischen oder einfachen Hebel, von dem vorzugsweise die nächsten Paragraphen handeln.

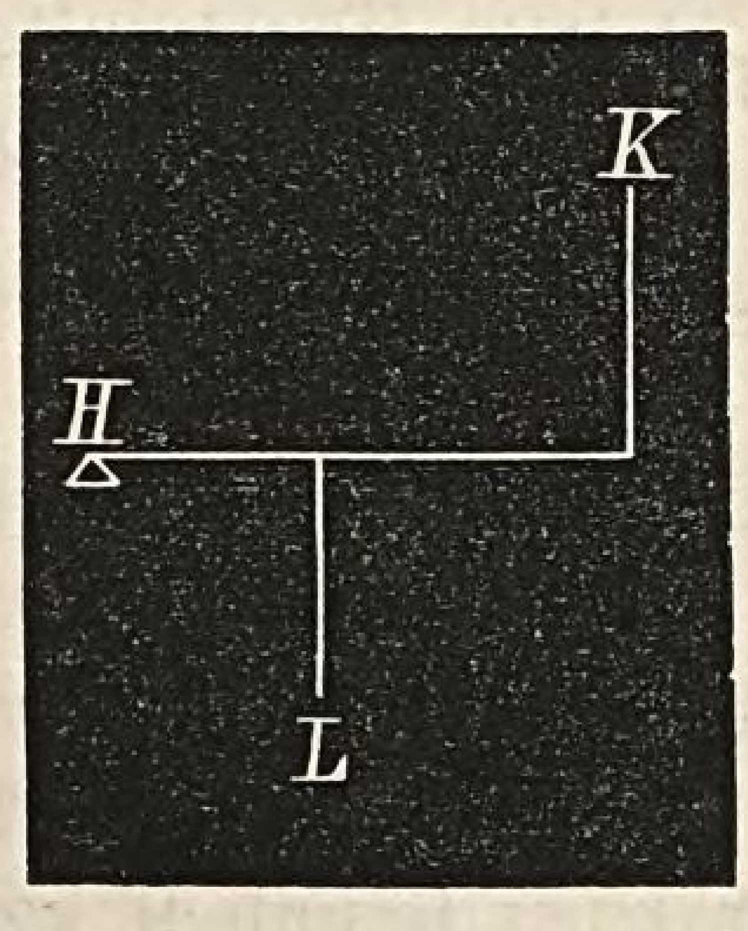
44. Die beiden Kräfte am Hebel werden von einander unterschieden durch die Ausdrücke Kraft und Last oder Widerstand. Bei jedem Hebel giebt es drei merkwürdige Punkte: den Unterstützungs- oder Drehpunkt (Hypomochlium) und die Angriffspunkte der Kraft und der Last.

45. Die Lage dieser drei Punkte bestimmt es, ob der Hebel ein einarmiger oder zweiarmiger heißt; bei jenem (Fig. 4 und 5) liegen die beiden Angriffspunkte auf derselben Seite, bei diesem (Fig. 3) auf entgegengesetzten Seiten des Drehpunktes. Da aber beim einarmigen Hebel die Last näher oder entfernter als die Kraft vom Drehpunkte wirken kann, so ist er in dieser Beziehung doppelter Art, und wir unterscheiden daher auch Hebel erster, zweiter und dritter Art, je nachdem sich der Drehpunkt zwischen den beiden Angriffspunkten, oder der Angriffspunkt der Last zwischen dem Drehpunkte und dem Angriffspunkte der Kraft, oder endlich der Angriffspunkt der Kraft zwischen dem der Last und dem Drehpunkte befindet, wie das die Figuren 3, 4 und 5 verdeutlichen.

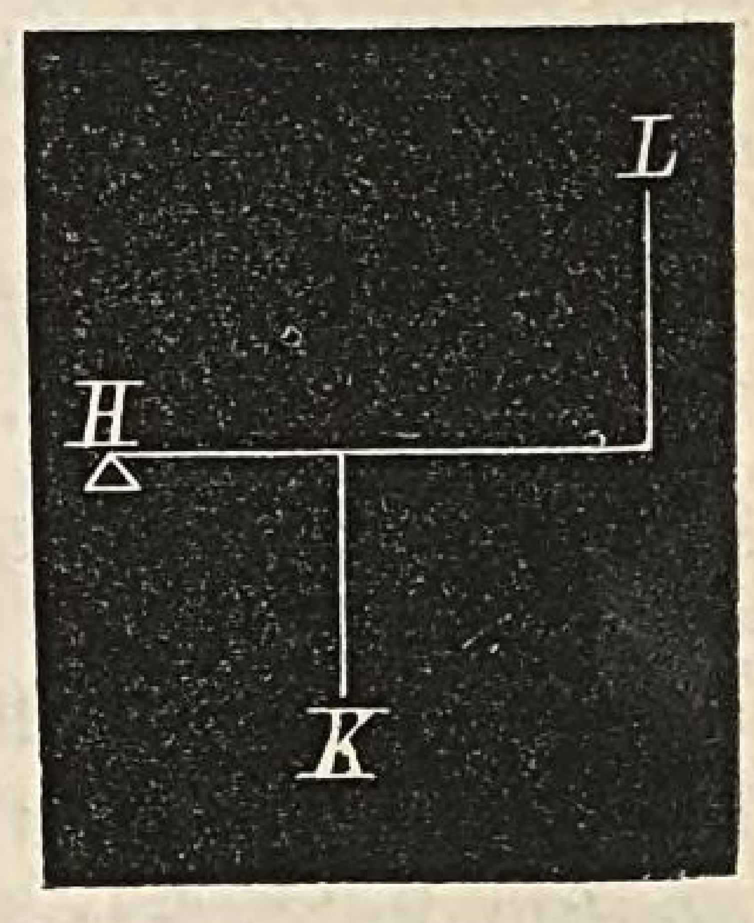
Figur 3.



Figur 4.



Figur 5.



Bei einem zweiarmigen Hebel wirken Kraft und Last nach derselben, bei einem einarmigen dagegen immer nach entgegengesetzten Seiten

hin, denn nur auf diese Art kann in den Armen das Bestreben, eine Drehung nach entgegengesetzter Richtung anzunehmen, entstehen. Im entgegengesetzten Falle würden Kraft und Last sich nur wechselseitig unterstützen, statt gegen einander zu wirken.

Die Arme eines Hebels können eine gerade oder eine krumme Linie oder auch einen Winkel bilden, in welchem letzteren Falle der Unterstützungspunkt im Scheitel des Winkels liegt; daher unterscheidet man geradlinige, krummlinige oder gebogene Hebel und Winkelhebel; die Kräfte können dabei bei dem geradlinigen und Winkelhebel senkrecht oder schief auf die Hebelarme wirken. Zunächst § 46 bis 48 wird angenommen, daß die Kraft senkrecht auf den Hebelarm wirkt.

Jede Kraft am Hebel hat ihren eigenen Hebelarm, worunter man immer den Teil des Hebels zwischen dem Drehpunkte und ihrem Angriffspunkte versteht; deshalb hat der sogenannte einarmige Hebel eben so gut zwei Hebelarme, als der zweiarmige, und wird nur deshalb einarmig genannt, weil sie auf derselben Seite des Drehpunktes liegen und der kürzere einen Teil des längeren ausmacht.

46. Bei allen Arten von Hebeln gilt ohne Unterschied das Gleichgewichtsgesetz: Der Hebel ist im Gleichgewichte, wenn sich Kraft und Last zu einander verhalten, wie umgekehrt ihre Entfernungen vom Unterstützungspunkte, oder was dasselbe ist, indem es aus dieser geometrischen Proportion folgt: der Hebel ist im Gleichgewichte, wenn die statischen Momente (die Produkte aus den Kräften und ihren Entfernungen vom Unterstützungspunkte) einander gleich sind; in einer Formel also:

$$\left.\begin{array}{c} K : L = El : Ek \\ \text{oder} \\ L : K = Ek : El \end{array}\right\} \text{ oder } K \,.\, Ek = L \,.\, El,$$

wo K, L, El, Ek in derselben Ordnung, Kraft, Last, Entfernung der Last, Entfernung der Kraft bedeuten. Wenn von den vier Größen beim Hebel, den beiden Kräften und den beiden Entfernungen, drei beliebige gegeben sind, so läßt sich nach diesem Gesetze die vierte immer leicht finden; wirkt z. B. eine Kraft von 9 kg in der Entfernung von 7 cm, in welcher Entfernung (x) vom Drehpunkte muß die Kraft von 5 kg angebracht werden, um Gleichgewicht hervorzubringen? Man setzt:

$$\text{entweder } 5 : 9 = 7 : x;\ \text{also } x = \frac{9 \,.\, 7}{5} = 12^3/_5 \text{ cm}$$

$$\text{oder } 5 \,.\, x = 9 \,.\, 7;\ \text{also } x = \frac{9 \,.\, 7}{5} = 12^3/_5 \text{ cm}$$

Auch die Stelle des Drehpunktes läßt sich bestimmen, wenn nur die beiden Kräfte und die Entfernung ihrer Angriffspunkte von einander gegeben sind. Die Kräfte seien 6 und 9 kg und sie sollen 20 cm von einander entfernt wirken, wo ist der Drehpunkt anzubringen 1) beim zweiarmigen, 2) beim einarmigen Hebel? Heißt die zu 6 kg gehörige

Entfernung x, so wird die zu 9 kg gehörige im ersten Falle (20 — x), im zweiten aber (x — 20) heißen, und es steht:

zu 1) $6x = 9(20 - x)$, woraus folgt $x = 12$ cm
und $20 - x = 8$ cm

zu 2) $6x = 9(x - 20)$, woraus folgt $x = 60$ cm
und $x - 20 = 40$ cm

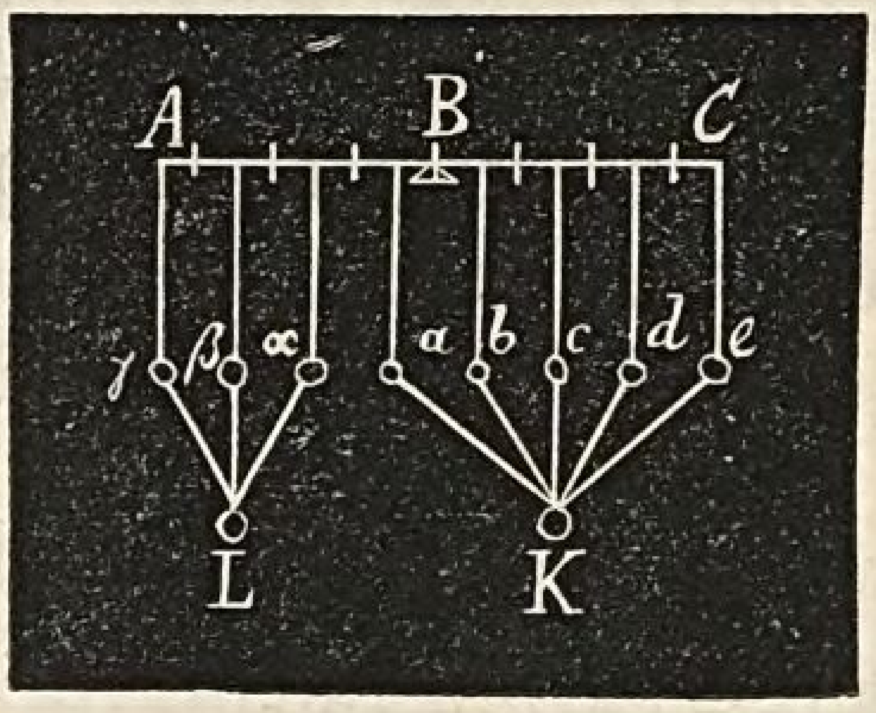
Oder auch so: Heißt die zu 9 kg gehörige Entfernung y, so wird die zu 6 kg gehörige im ersten Falle (20 — y), im zweiten aber (20 + y) heißen, und es steht:

zu 1) $9y = 6(20 - y)$, woraus folgt $y = 8$ cm
und $20 - y = 12$ cm

zu 2) $9y = 6(20 + y)$, woraus folgt $y = 40$ cm
und $20 + y = 60$ cm

Die Entfernung einer Kraft vom Drehpunkte ist der Perpendikel vom Drehpunkte auf die Richtungslinie dieser Kraft. — Wirken die Kräfte auf die Hebelarme senkrecht, so stellen diese selbst die Entfernungen dar, sonst aber sind die Hebelarme größer als die Entfernungen der Kräfte. — Das Grundgesetz des Hebels läßt sich so verdeutlichen: Ist ist in Figur 6 AB = BC und sind in A und C gleiche Kräfte senkrecht wirkend angebracht, so ist gewiß Gleichgewicht vorhanden, da die gleichen Kräfte den Hebel gleich stark nach entgegengesetzten Seiten zu drehen suchen, der Hebel also keiner folgen kann. Es ist daher auch Gleichgewicht vorhanden, wenn die gleichen Hebelarme in gleich viele gleiche Teile geteilt werden, hier in sieben, und in gleichen Entfernungen gleiche Gewichte α, β, γ, a, b, c, d, e, aufgehangen werden, da ja a und b, eben so γ und e ꝛc. sich das Gleichgewicht halten; werden nun α, β, γ, in L, sowie a, b, c, d und e in K vereinigt, so gibt es keinen Grund, warum das Gleichgewicht aufhören sollte; L aber = 3 Lasten hat zur Entfernung 5 und K = 5 Lasten zur Entfernung 3, d. h. die Kräfte verhalten sich zu einander, wie umgekehrt ihre Entfernungen vom Drehpunkte. — Archimedes (250 v. Chr.) stellt das Grundgesetz für den Hebel auf.

Figur 6.



47. Geschieht diesem Grundgesetze kein Genüge, so findet eine Bewegung statt. Die Last steigt oder fällt, je nachdem die Kraft größer oder kleiner ist, als sie das Gleichgewichtsgesetz erfordert. Bei dieser Bewegung beschreiben die Angriffspunkte der Kräfte Kreislinien um den Drehpunkt, und je nachdem die Hebelarme, als die Radien dieser Kreislinien, gleich oder ungleich sind, werden die Angriffspunkte sich mit gleicher oder ungleicher Geschwindigkeit bewegen. Ihre Geschwindigkeiten stehen im geraden Verhältnisse der Hebelarme. Gl, Gk sollen die Geschwindigkeiten der Last und der Kraft bedeuten.

48. Die Anwendung des Gleichgewichtsgesetzes auf die Hauptarten des geradlinigen Hebels ergiebt folgende Resultate. Wir denken uns zunächst die Kräfte auf die Hebelarme senkrecht wirkend, mithin die Hebelarme selbst als die Entfernungen der Kräfte vom Drehpunkte.

1) Hebel erster Art. Dieser Hebel ist gleich- oder ungleicharmig. Bei dem gleicharmigen geht die Proportion:

K : L = El : Ek über in:

$K : L = El : El$ oder $= Ek : Ek$, und, da mit einem Verhältnisse der Gleichheit nur wiederum ein solches eine Proportion bilden kann, so ist:

$K = L$, d. h. beim gleicharmigen Hebel ist Gleichgewicht vorhanden, sobald Kraft und Last einander gleich sind. Die Last kann also nur durch eine Kraft, die größer als sie ist, gehoben werden. Da aber hier Kraft und Last in gleichen Zeiten gleiche Räume zurücklegen, so haben sie gleiche Geschwindigkeiten oder $Gk = Gl$.

Wenn das Gleichgewicht eine Kraft verlangt, die kleiner ist als die Last, welche immer als das zu Überwältigende betrachtet wird, so sagt man, daß ein mechanischer Vorteil vorhanden ist; wenn aber bei stattfindender Bewegung die Kraft einen größeren Weg zurücklegen muß, d. h. sich schneller bewegen muß, als die Last, so nennt man das einen mechanischen Nachteil. Es ist ein allgemeines Gesetz, daß beide unzertrennlich sind; je größer der mechanische Vorteil, der Gewinn an Kraft, desto größer ist auch der mechanische Nachteil, die Vermehrung der Geschwindigkeit der Kraft, oder überhaupt Verlust an Zeit, weil bei der langsameren Bewegung der Last mehr Zeit nötig ist, sie bis zu einer bestimmten Höhe zu heben. Man sagt auch: Soviel an Kraft gewonnen wird, eben soviel geht an Geschwindigkeit verloren.

Wenn die Hebelarme 3 m und 7 m lang sind, so beschreiben Last und Kraft bei der Umdrehung um H Bogen, welche sich wie ihre Halbmesser 5 : 7 verhalten (§ 46). Um die Last von $12^3/_5$ kg 5 m zu heben, muß die Kraft von 9 kg 7 m durchlaufen.

Wirkt beim ungleicharmigen Hebel die Kraft an dem größeren Hebelarme, d. h. ist $Ek > El$, so ist in der Proportion $K : L = El : Ek$ das Verhältnis $El : Ek$ ein steigendes und also auch $K : L$ ein steigendes Verhältnis, d. h. $K < L$, und setzt man $Ek = nEl$, so erhält man:

$$K : L = El : nEl \text{ oder } K : L = 1 : n$$

$$\text{also } K = \frac{L}{n},$$

d. h. wird die Kraft bei einem ungleicharmigen Hebel an dem längeren Arme angebracht, so darf sie beim Gleichgewichte nur der sovielte Teil der Last sein, als oft ihr Arm an Länge den der Last übertrifft.

Es ist aber auch:

$$Gk = n \cdot Gl.$$

Wird die Kraft an dem kürzeren Arme angebracht, also $Ek < El$ angenommen, so ist auch das Resultat umgekehrt — wir ersparen also durch den ungleicharmigen Hebel nur dann an Kraft, wenn diese am längeren Arme wirkt.

Wie bestimmt man bei einem Hebel erster Art von gegebener Länge den Drehpunkt, wenn man 2, 3, 4 kg u. s. w. mit 1 kg ins Gleichgewicht setzen will? — Gewöhnliche Kaufmannswage (§ 51). Schnellwage oder römische Wage, Scheeren, Zangen, Klappen an Blase-Instrumenten, Klaves beim Flügel, Steuerruder, Schaukelbretter; Stangen, mit denen man nach Herstellung einer Unter-

stützung, z. B. mittelst eines Steines, Lasten hebt, das Tragen einer Last mittelst eines über der Schulter ruhenden Stabes, Hebestangen, Pumpenschwengel, Hebeladen u. s. w. Mittelst eines sehr ungleicharmigen Hebels kann ein schwaches Kind eine große Last, ein starker Mann aber oft eine kleine Last nicht heben, wenn jenes an dem längeren, dieser an dem kürzeren Arme wirkt. Die Anwendung des Winkelhebels, welcher auch ein Hebel erster Art ist, zeigen die Thürklinken, Klingelgerüste, der Hammer beim Herausziehen eines Nagels an der Wand 2c.

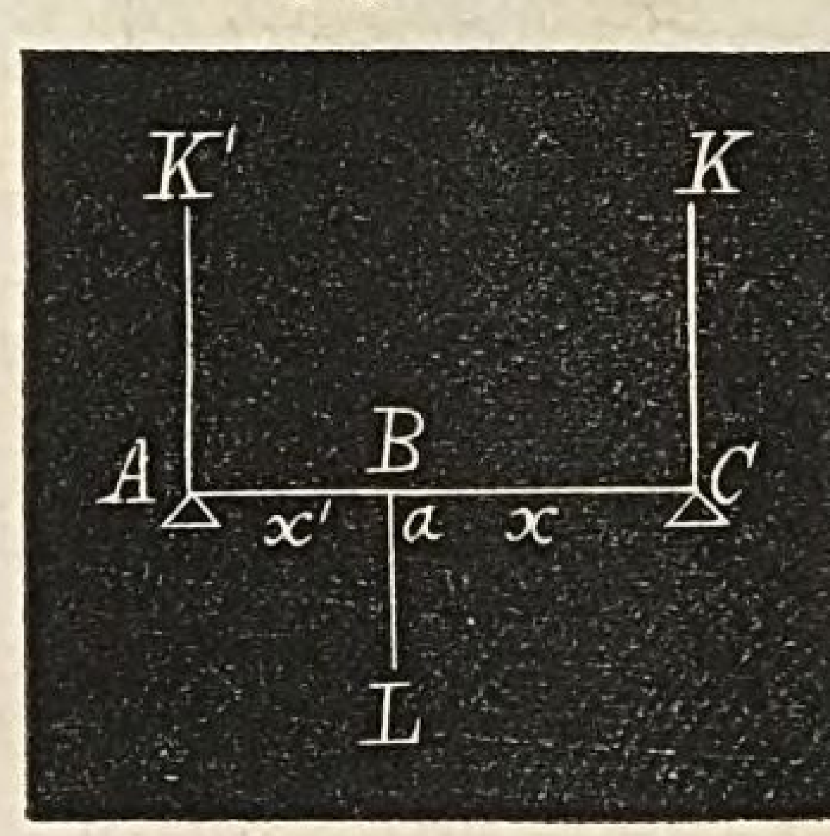
2) Hebel zweiter Art. Da hier die Kraft vom Drehpunkte immer entfernter als die Last wirkt, also E k immer $>$ E l ist, so wird bei diesem Hebel auch immer an Kraft erspart, aber auch an Weg und Zeit zugesetzt, oder: je mehr an Kraft erspart wird, desto langsamer bewegt sich die Last. Es ist hier immer:

$$K = \frac{L}{n} \text{ und } G k = n \,.\, G l.$$

Wie bestimmt man bei einem Hebel zweiter Art den Angriffspunkt der Last, wenn 2, 3, 4 kg 2c. mit 1 kg ins Gleichgewicht gesetzt werden sollen?

Schubkarren, ein zweirädriger Wagen, Schlüssel, das Schneidemesser der Kaufleute, Nußknacker, Bohrer; Ruder, mit denen man die Schiffe vorwärts treibt; Stangen, mit denen man die Lasten fortschiebt; jede in ihrer Angel bewegte Thür; wie zwei Personen auf einem Stabe eine Last tragen, wo eigentlich zwei Hebel zu betrachten sind, in der Art, daß immer die Hand der einen der Drehpunkt für den Hebel der anderen ist; sind die Personen gleich stark, so ist die Last in der Mitte des Stabes, sind sie aber ungleich stark, entfernter von der schwächeren und zwar an derjenigen Stelle aufzuhängen, deren Entfernungen von den Angriffspunkten der Personen sich umgekehrt wie die Stärke derselben verhalten. Denn wenn in Figur 7 $AC = a$, $AB = x'$ und $BC = x$ gesetzt wird, so ist:

Figur 7.



$$\left.\begin{aligned} L x' &= K a \\ L x &= K' a \end{aligned}\right\} \quad \begin{aligned} L x' : L x &= K a : K' a \\ x' : x &= K : K' \end{aligned}$$

$$\text{oder } K' x' = K x.$$

Ein mit seinen Enden auf Unterlagen ruhender und an irgend einer Stelle eine Last tragender Balken.

3) Hebel dritter Art. Da hier die Kraft näher am Drehpunkte als die Last wirkt, in der Gleichgewichtsformel also E k immer $<$ E l zu setzen ist, so ist jene beim Gleichgewichte größer und bewegt sich langsamer, als diese.

Es ist hier:

$$K = n \,.\, L \text{ und } G k = \frac{G l}{n}.$$

Dieser Hebel findet seine Anwendung da, wo Kraft genug vorhanden ist und eine schnelle Bewegung hervorgebracht werden soll.

Die Federn, Reißfedern, Bleistifte, Pinsel bei ihrem Gebrauche, Feuerzangen, Scheeren, mit denen man den Schafen die Wolle abnimmt; die Glieder des tierischen Körpers, die mittelst der Muskeln bewegt werden.

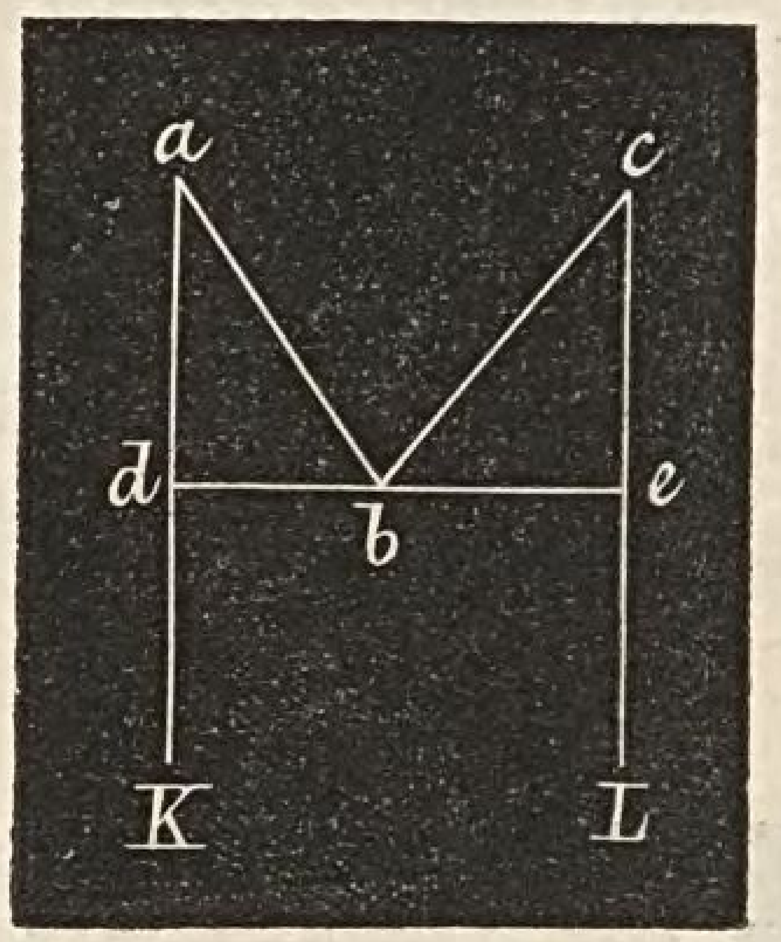
Eine Krafterspārnis ist beim Hebel erster Art also nur dann vorhanden, wenn er ungleicharmig ist und die Kraft am längern Arme wirkt; beim Hebel zweiter Art aber immer, so wie bei dem dritter Art niemals.

49. Wirken die Kräfte auf die Hebelarme schief, so ist in jedem besonderen Falle die Gleichgewichtsformel danach anzugeben, daß man sich streng an den Begriff der Entfernungen der Kräfte hält. Hat man einen Winkelhebel; in Figur 8 a b c, sind in a und c Gewichte aufgehangen und sind b d und b e die Entfernungen; oder hat man einen geradlinigen Hebel a c, bei welchem die Kräfte wie in Figur 9 so wirken, daß die Perpendikel b d und b e die Verlängerungen der Richtungslinien treffen, so ist in beiden Fällen die Gleichgewichtsformel:

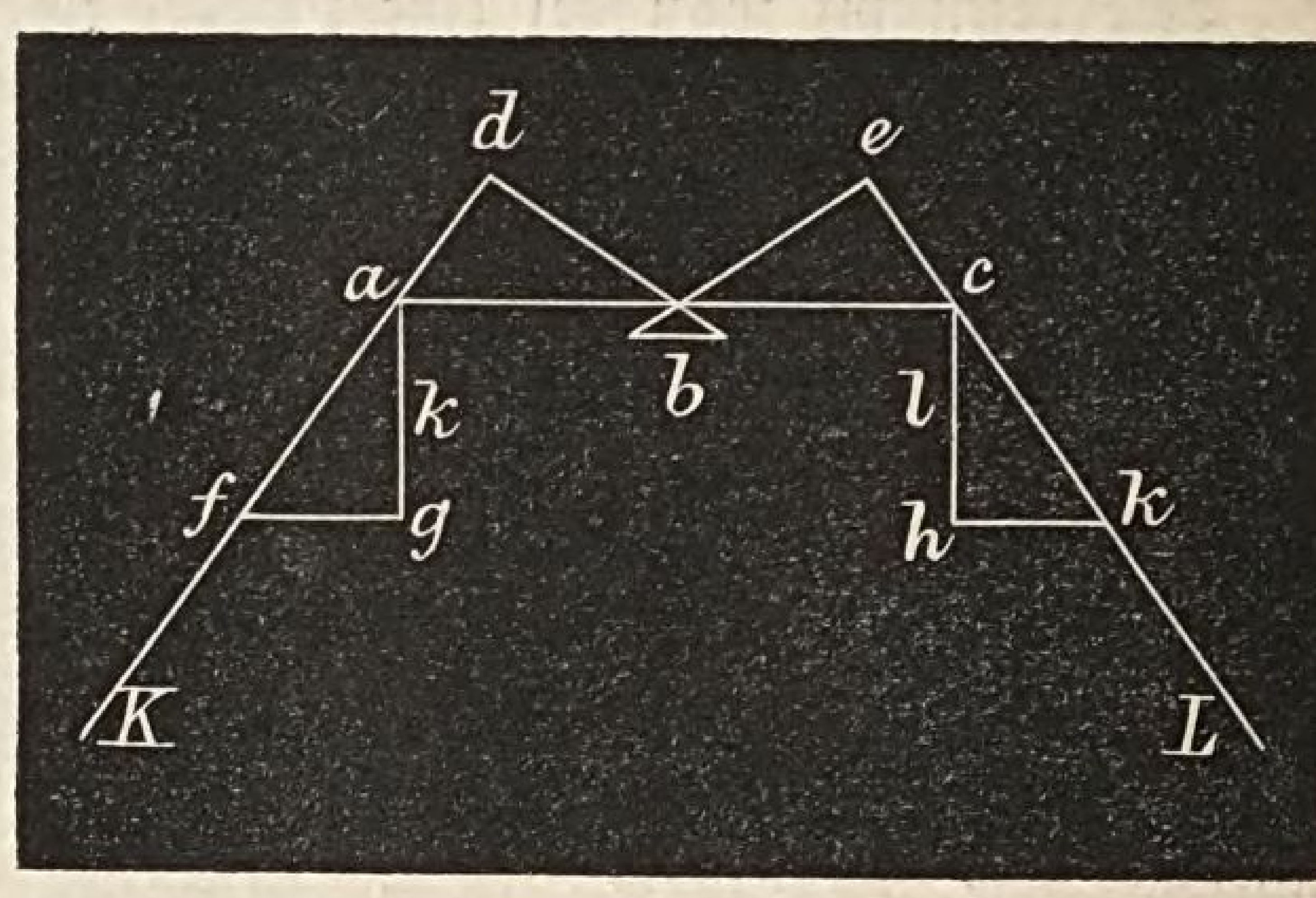
$$K : L = be : bd.$$

Der Beweis ist leicht zu führen, unter der Voraussetzung, daß die Gleichgewichtsformel für den Fall, in welchem die Kräfte senkrecht wirken, richtig ist. Man zerlege z. B. in Figur 9 sowohl K als L

Figur 8.



Figur 9.



in eine auf a c senkrechte und in eine mit ihr parallele Kraft; die parallelen, hier durch f g und h k dargestellt, tragen, da sie längs b a und b c auf den festen Punkt b wirken, zur Bewegung nichts bei, nur die senkrechten k und l bringen sie hervor; aber:

$$k : l = bc : ba.$$

Um k und l durch K, L, d b und e b auszudrücken, verfahre man so:

$$\triangle afg \sim \triangle abd, \text{ also } af : ag = ba : bd$$
$$\text{aber auch } af : ag = K : k$$
$$\text{also } K : k = ba : bd \text{ und}$$
$$k = K . \frac{bd}{ba}.$$

$$\text{Desgleichen } \triangle chk \sim \triangle bec, \text{ also } ck : ch = bc : be$$
$$ck : ch = L : l$$
$$L : l = bc : be$$
$$l = L . \frac{be}{bc} \text{ und die Proportion}$$

$k : l = bc : ba$ geht also durch Substitution über

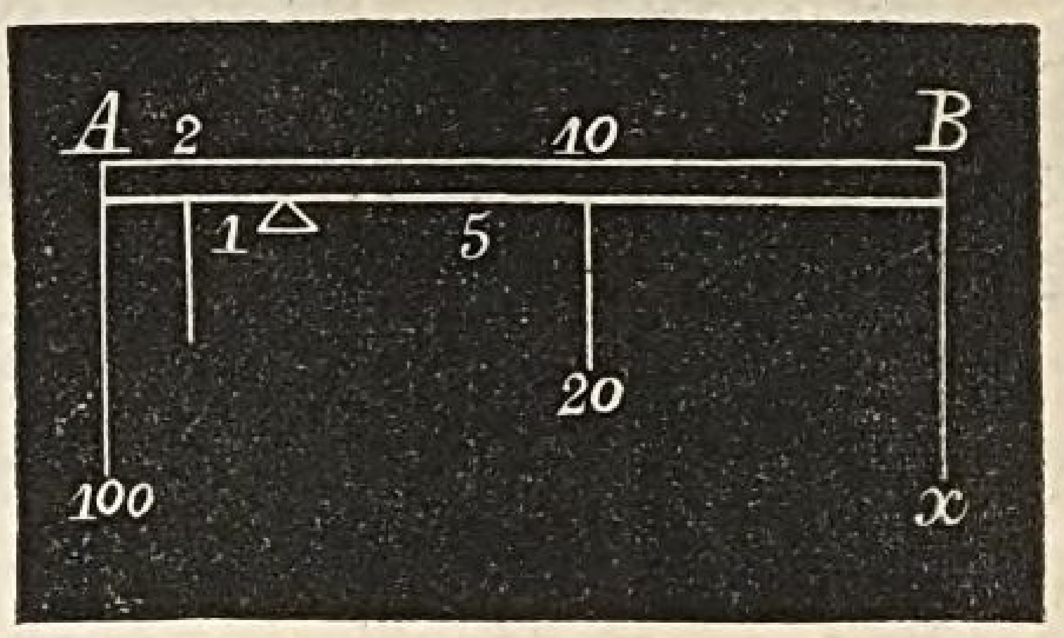
$$\text{in } K . \frac{bd}{ba} : L . \frac{be}{bc} = bc : ba$$
$$\text{woraus folgt } K . bd = L . be$$
$$\text{oder } K : L = be : bd.$$

Da bei der Zerlegung einer schief wirkenden Kraft in eine horizontal und eine perpendikular wirkende die letztere desto kleiner wird, je schiefer die ursprüngliche Kraft wirkt, so ist aus der Lage des Muskels zwischen dem Ober- und Unterarme leicht erklärlich, daß wir mehr zu tragen im Stande sind, wenn der Oberarm perpendikular und der Unterarm horizontal gehalten wird, als wenn der ganze Arm horizontal ausgestreckt wird. Die Antwort auf die Frage, warum ein Gewehr am Laufe gehalten schwerer erscheint, als wenn es am Kolben gehalten wird, erfordert außer der Kenntnis der Lehre vom Hebel auch noch die vom Schwerpunkte. (§ 64.)

Wirken endlich bei einem Hebel erster Art mehrere Kräfte an jedem Hebelarme, oder bei denen der zweiten und dritten Art immer mehrere nach derselben Richtung hin, so ist, wie leicht einzusehen, Gleichgewicht vorhanden, wenn die Summe aus den statischen Momenten der einen Gruppe von Kräften gleich ist der Summe aus den statischen Momenten der entgegenwirkenden Gruppe.

50. Von der Schlußbemerkung des § 49 macht man Gebrauch bei der Übertragung der Gesetze des mathematischen Hebels auf den physischen oder materiellen Hebel, bei welchem das Gewicht der Hebelarme berücksichtigt werden muß. Es sei in Figur 10 der prismatische oder cylindrische Stab AB 12 Meter lang, der Drehpunkt liege so, daß der 2 Meter lange Hebelarm 4 kg, der 10 m lange 20 kg wiege, an dem kürzeren Hebelarme seien 100 kg angebracht; man will wissen, wie viele Kilogramme das Gleichgewicht in B verlangt.

Figur 10.



Denken wir uns die 4 kg und die 20 kg in den Schwerpunkten der Hebelarme (§ 61), also die 4 kg in der Entfernung von 1 m, die 20 kg in der Entfernung von 5 m angebracht, so steht:

$$5 \,.\, 20 + 10\,x = 4 \,.\, 1 + 100 \,.\, 2,$$ woraus

folgt $x = 10{,}4$ kg.

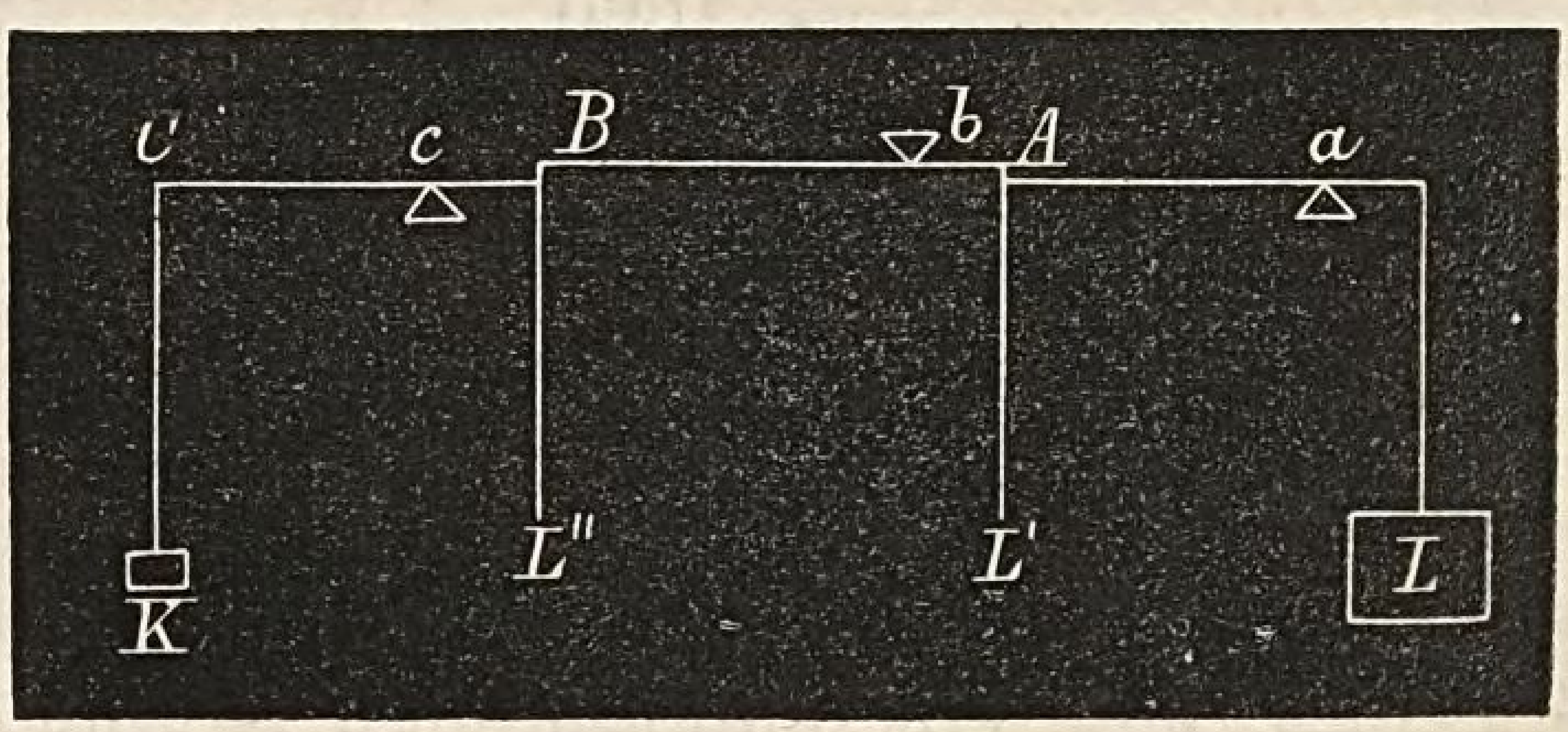
Wo ist der Drehpunkt bei einem physischen Hebel erster Art anzubringen, wenn die Last 100 kg, die Kraft 10,4 kg beträgt und der 12 m lange prismatische Stab 24 kg wiegt? Ist die Entfernung der Last x, also die der Last 12 — x, so ist, da auf jeden Meter Länge des Stabes 2 kg Gewicht kommen,

$$100\,x + \tfrac{1}{2}\,x \,.\, 2\,x = 10{,}4\,(12 - x) + \tfrac{1}{2}\,(12 - x) \,.\, 2\,(12 - x)$$

woraus folgt $x = 2$ Meter.

Hebelvorrichtung, um die Gesetze des Hebels durch Experimente zu beweisen.

Figur 11.



51. Durch eine Verbindung mehrerer ungleicharmiger geradliniger Hebel, wie in Fig. 11, wo die Kräfte senkrecht wirkend angenommen werden, ließe sich zwar viel an Kraft ersparen, aber wegen des dabei

stattfindenden großen mechanischen Nachteils ist eine solche Verbindung fast unbrauchbar. Ist jeder längere Hebelarm A, B, C immer 10 Mal größer, als jeder kürzere a, b, c, so ist die Frage: wie viele Kilogramme Last an dem einen Ende dieser Hebelverbindung durch ein Kilogramm Kraft, an dem anderen derselben angebracht, ins Gleichgewicht gesetzt werden können, leicht zu beantworten; denn trägt der Arm C 1 kg, so erfordert der 10 Mal kürzere c 10 kg zum Gleichgewicht; werden diese 10 kg nach unten wirkend nicht aufgehangen, so drückt der Arm c den Arm B mit der Kraft von 10 kg in die Höhe, und für diese 10 kg des Armes B erfordert der 10 Mal kürzere Arm b nach dem Gleichgewichtsgesetze 10 . 10 = 100 kg nach oben wirkend; werden diese nicht angebracht, so drückt der Arm b den Arm A mit 100 kg herabwärts, welche an dem wieder 10 Mal kürzeren Arme a nur mit 10 . 100 = 1000 kg ins Gleichgewicht gesetzt werden können. Bei dieser Hebelverbindung kann also jedes Gewicht eine 1000 Mal größere Last tragen; was auch so gefolgert werden kann: trägt a 1 kg, so erfordert A zum Gleichgewicht $^1/_{10}$ kg, für $^1/_{10}$ kg des Armes b erfordert der Arm B $^1/_{10} . ^1/_{10} = ^1/_{100}$ kg und für $^1/_{100}$ kg des Armes c erfordert C $^1/_{100} . ^1/_{10} = ^1/_{1000}$ kg, d. h. die Kraft braucht hier nur der 1000. Teil der Last zu sein.

Soll die Last 1 cm in die Höhe, so muß der Arm A, folglich auch der Arm b, 10 cm herab, mithin die Arme B und c 10 . 10 = 100 cm herauf, und also der Arm C 10 . 100 = 1000 cm herab. Indem also die große Last von 1000 kg nur 1 cm steigt, muß die kleine Kraft von 1 kg 1000 cm sinken. Vergleiche § 48, 1.

Die Berechnung des mechanischen Vorteils überhaupt, wie verschieden auch immer die Längen der Arme sein mögen, geschieht hier so:

$$K : L'' = c : C$$
$$L'' : L' = b : B$$
$$L' : L = a : A$$

$$\text{also } K : L = c . b . a : C . B . A, \text{ d. h.}$$

Kraft : Last = Prod. aller kürzeren Arme : Prod. aller längeren Arme,

$$\text{also Kraft} = \frac{\text{Prod. aller k. A.}}{\text{Prod. aller l. A.}} \times \text{Last.}$$

In dem vorigen Beispiele also:

$$K : 1000 = 1 . 1 . 1 : 10 . 10 . 10$$

$$K = \frac{1.\ 1.\ 1.}{1000.} . 10.\ 10.\ 10. = 1.$$

$$\text{Auch ist } Gk = \frac{\text{Prod. aller l. A.}}{\text{Prod. aller k. A.}} \times Gl.$$

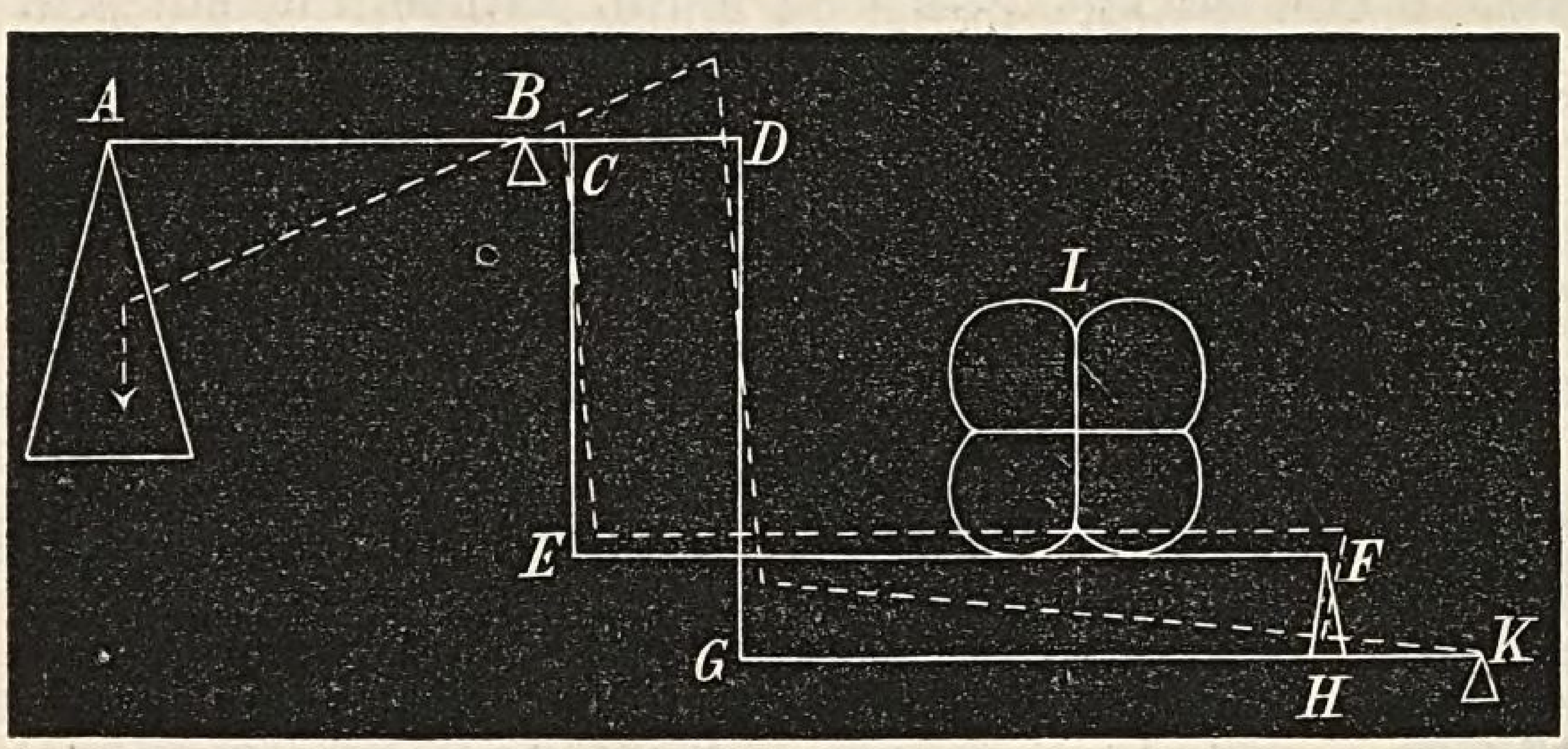
$$\text{In dem vorigen Beispiel } Gk = \frac{10.\ 10.\ 10.}{1 . 1. 1.} \times 1 = 1000.$$

Die Wage (§ 48, 1) ist ein gleicharmiger Hebel (§ 45); die an beiden Enden des Wagebalkens wirkenden Kräfte (die Schalen mit den Gewichten und den abzuwägenden Gegenständen) müssen gleich sein.

Fällt der Schwerpunkt (61) der Wage mit dem Aufhängungspunkt zusammen, so kann zwar bei völlig gleichem Gewicht auf beiden Seiten die horizontale Lage des Wagebalkens erhalten werden; aber bei dem geringsten Übergewicht auf der einen Seite würde die horizontale Lage in die vertikale überschlagen, was beim Gebrauch sehr lästig wäre. Man fertigt deshalb die Wage so, daß der Schwerpunkt etwas unterhalb dem Aufhängungspunkte fällt; dann treten (§ 63) nur geringe Schwankungen ein. Man prüft die Richtigkeit der Wage, indem man beide Schalen vertauscht und sieht, ob sich die horizontale Lage des Wagebalkens wieder herstellt. Diese wird bestimmt durch eine auf dem Wagebalken senkrechte Zunge, deren Spitze, zu genauen Messungen, einen genau geteilten Bogen beschreibt. Die Empfindlichkeit der Wage rechnet man im Verhältnis zu dem Gewichte, für welches sie bestimmt ist: z. B. bei 500 g Tragkraft und 1/300000 Feinheit giebt sie Zuverlässigkeit bis auf 5/3 mg. Die Reibung muß sowohl im Stützpunkt der Wage, als auch bei der Verbindung der Schalen mit dem Wagebalken möglichst vermieden werden.

Die sogenannte Brückenwage ist ein auf eigentümliche Art aus Hebeln zusammengesetztes Instrument, mit welchem man mittelst kleiner Gewichte sehr bequem große Lasten abwiegen kann, was folgende Andeutungen verdeutlichen sollen. In Fig. 12 hat der zweiarmige Hebel ABD in B seinen Drehpunkt, in C hängt mittelst der Stange CE die sogenannte Brücke EF, auf welche die Last

Figur 12.



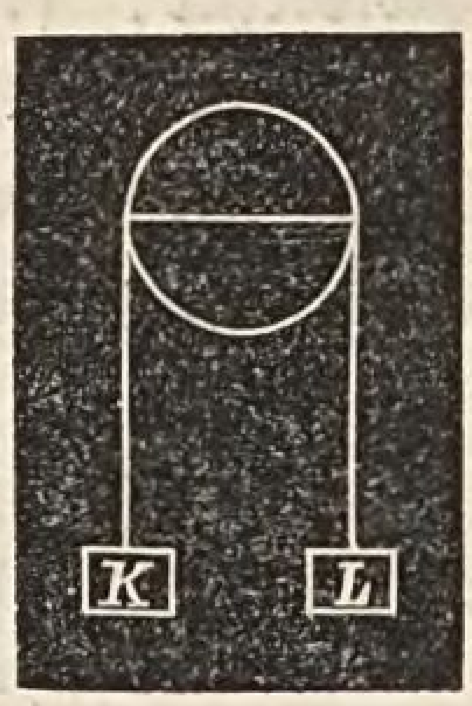
L gelegt wird; mit D ist durch die Stange DG der einarmige Hebel GK, welcher in K seinen Drehpunkt hat und in H die Brücke EF trägt, in Verbindung. Die Einrichtung, daß bei stattfindender Bewegung H und C, also auch F und E, mithin auch alle Teile der Brücke, gleich hoch sich heben, wird dadurch erreicht, daß GK so oft die HK übertrifft, als BD die BC, z. B. 5 Male; denn hebt sich durch die Belastung der Wagschale in A der Punkt C um 1 cm, so hebt sich D um 5 cm — E hebt sich aber um so viel als C, also um 1 cm, und G um so viel als D, also um 5 cm — hebt sich aber G um 5 cm, so hebt sich H um 1 cm; mithin heben sich F und E um gleichviel, hier um 1 cm. Die Wagschale aber sinkt so viele Male mehr, als C steigt, als oft AB größer als BC ist, d. i. bei den sogenannten Decimalwagen 10, bei den Centesimalwagen 100 Mal, so daß bei jenen die Gewichte immer nur den 10., bei diesen nur den 100. Teil der Last betragen.

2. Von den Rollen, von dem Rade an der Welle, von den Flaschenzügen und Räderwerken.

52. Eine Rolle ist eine Scheibe aus fester Masse (Holz, Metall), mit einem rinnenförmig ausgehöhlten Rande, in welchen man einen Faden, ein Seil, eine Schnur oder eine Kette legt, deren Enden mit Gewichten versehen, oft aber auch irgendwo befestigt werden. Die Rolle ist nur eine besondere Art des Hebels.

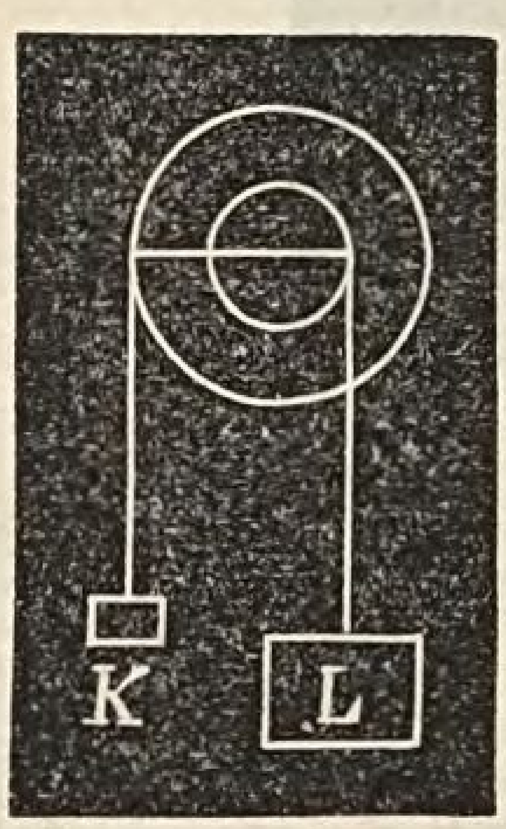
53. Wenn sich die Rolle, wie in Figur 13, um eine durch den Mittelpunkt, senkrecht auf ihrer Ebene, gehende Achse bewegt, und die Schnur über sie hinweggehend, auf beiden Seiten herabhängt, so heißt sie eine feste oder unbewegliche Rolle, weil sie, obwohl um ihre Achse sich bewegend, ihren Ort im Raume doch nicht ändert. Der Drehpunkt ist der Mittelpunkt; Kraft und Last wirken gleichsam an den Endpunkten des horizontalen Diameters, weshalb also jede um den Radius vom Drehpunkte entfernt ist. Eine solche Rolle ist offenbar ein zweiarmiger, gleicharmiger Hebel, und kann mithin nicht zur Ersparnis an Kraft dienen (§ 48, 1); ihr großer Nutzen besteht aber darin, daß man durch sie jede Kraft in jeder beliebigen Richtung wirken lassen kann, weshalb man sie auch Richtungsrolle nennt.

Fig. 13.



Gewichte ziehen nur von oben nach unten, Menschen können zwar nach allen Richtungen, am stärksten aber doch auch von oben nach unten, dagegen das Zugvieh am stärksten horizontal ziehen. Um eine Last von unten aus in die Höhe zu ziehen, reicht im ersten und zweiten Falle eine Rolle zu, im dritten würde es bequem sein, zwei anzubringen, wie? — Gewöhnliche Rammaschine — die großen, mehrcylindrigen Billardlampen.

Figur 14.



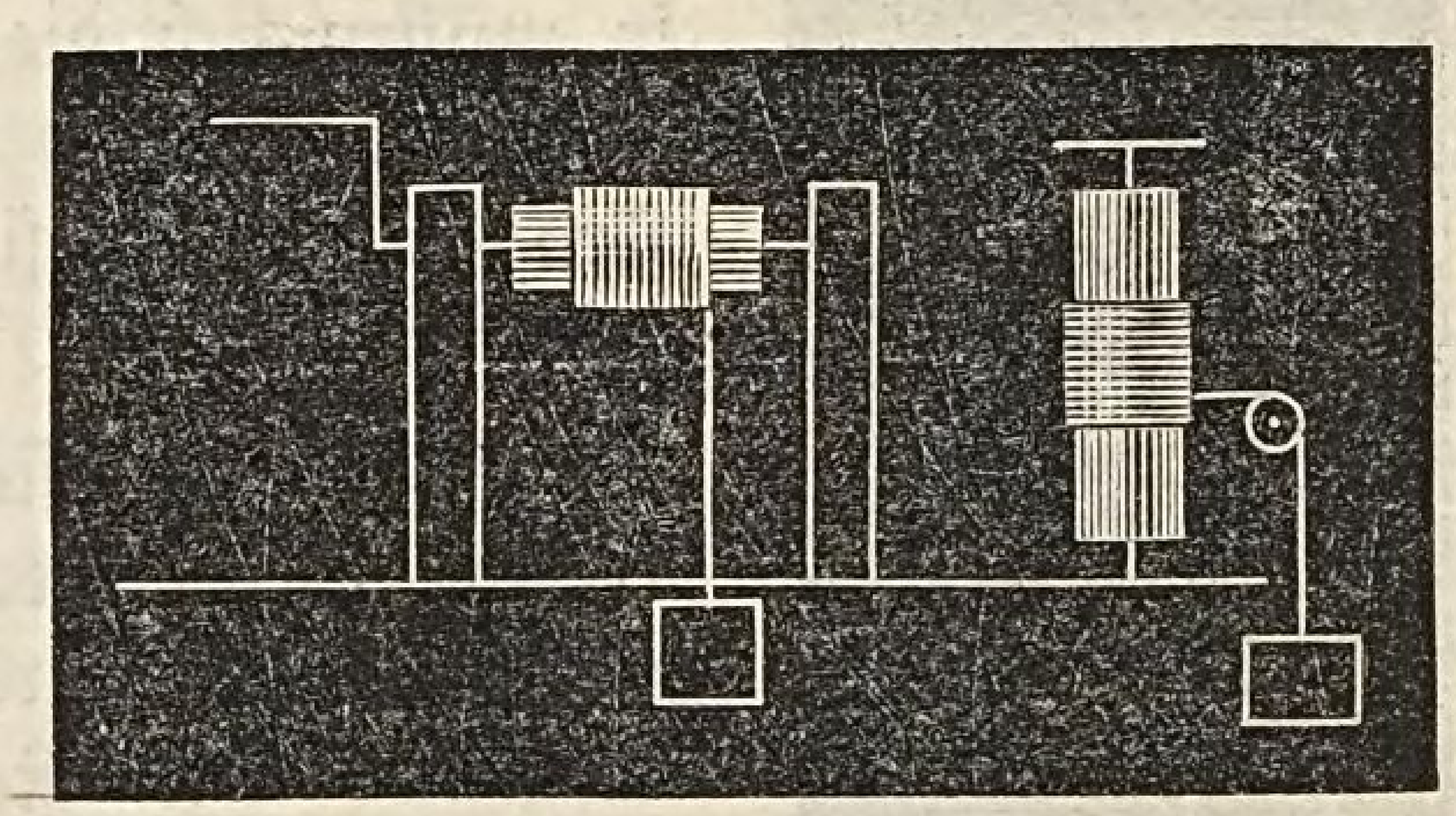
54. Durch die Verbindung zweier unbeweglicher Rollen, wie in Fig. 14, läßt sich aber doch an Kraft ersparen. Verbindet man nämlich zwei ungleich große unbewegliche Rollen so mit einander, daß sie konzentrisch fest an einander gemacht sind, und läßt man die an einem Seile hängende Last an der Peripherie der kleinen Rolle, die ebenfalls an einem eigenen Seile hängende Kraft aber eben so an der Peripherie der großen Rolle, der Last entgegengesetzt, wirken, was man dadurch erreicht, daß man die beiden Seile in entgegengesetzter Richtung aufwickelt, so hat man einen zweiarmigen ungleicharmigen Hebel (§ 48, 1) für dessen Gleichgewicht steht:

$$L : K = R : r \text{ oder } KR = Lr.$$

also $K = \frac{r}{R} \cdot L$, wobei R den Radius der größeren, r den Radius der kleineren Rolle bedeutet. Je nachdem $R = 2r, 3r, 4r$ u. s. w. ist, erfordert das Gleichgewicht in derselben Ordnung $K = \frac{1}{2} L$, $\frac{1}{3} L$, $\frac{1}{4} L$ u. s. w.; auch ist $Gk = 2\,Gl$, $3\,Gl$, $4\,Gl$ u. s. w.

Denkt man sich nun statt der kleinen Rolle einen Cylinder (Welle), statt der großen Rolle ein Rad, welches mit jenem fest verbunden ist und auf ihm senkrecht steht, so daß die Achse des Cylinders durch den Mittelpunkt des Rades geht, so nennt man diese Verbindung ein Rad an der Welle. Die Last hängt an einem Seile, welches um die Welle herumgeschlagen ist; die Kraft, durch Menschen, Tiere oder leblose Gegenstände ausgeübt, wirkt an der Peripherie des Rades (innerhalb, außerhalb oder auf dessen Rande) oder an den statt des Rades gebrauchten Sprossen, Speichen oder Hebeln, von denen die geraden Triebstöcke, die knieförmig gebogenen: Kurbeln heißen.

Figur 15.



Das Rad an der Welle heißt Haspel, wenn die Welle horizontal liegt, das Rad also senkrecht steht, Erdwinde, wenn das Umgekehrte stattfindet. Fig. 15.

Radhaspel, Kreuzhaspel, Hornhaspel, je nachdem die Kraft an einem Rade, an Speichen oder an einer Kurbel wirkt — Brunnen, Schachte — Laufräder, Treträder, Tretscheiben, Stufenräder, Wasserräder, Windräder, Wagenräder. Bei der Umdrehung des Rades um die Achse ist die Reibung hinderlich, welche sich nach dem Verhältnis des Durchmessers der Achse zu dem des Rades richtet; daher macht man den Durchmesser der Achse möglichst klein. — Vorteil der eisernen Achsen gegen hölzerne.

Wenn die Kraft um so viel sinkt, als die Peripherie des Rades beträgt, so steigt die Last erst um so viel, als die Peripherie der kleineren Welle beträgt, d. h. die Geschwindigkeit der Kraft verhält sich zur Geschwindigkeit der Last, wie die Peripherie des Rades zu der Peripherie der Welle, oder wie ihre Diameter oder Radien, also:

$$Gk : Gl = 2\,R\pi : 2\,r\,\pi = 2\,R : 2\,r = R : r$$

$$Gk = \frac{R}{r} \,.\, Gl.$$

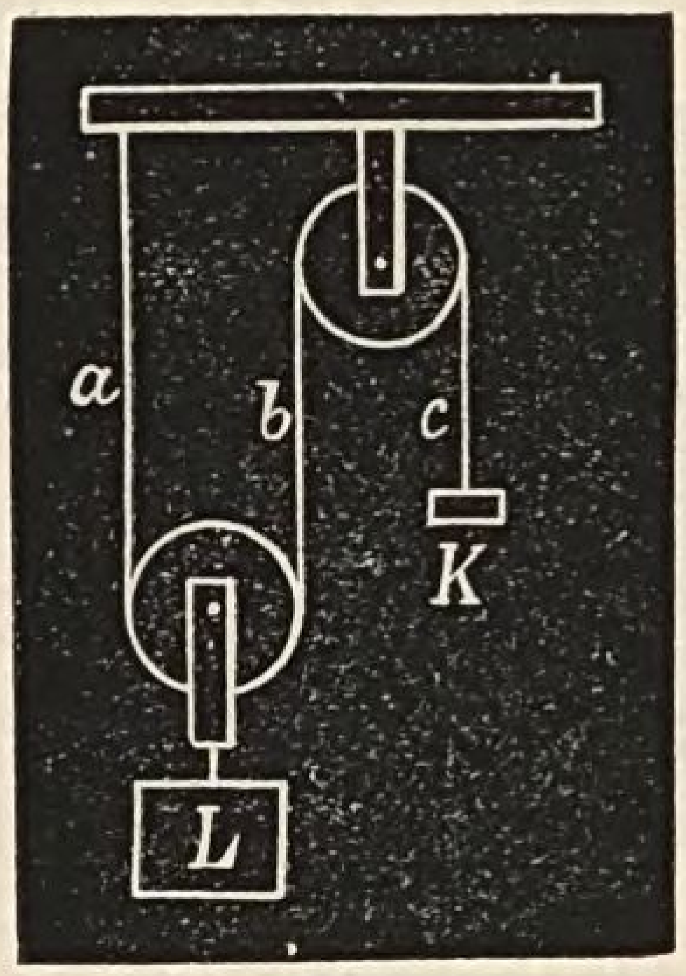
55. Hängt die Rolle in der Schnur, so daß das eine Ende derselben irgendwo befestigt ist, am andern Ende die Kraft hinaufzieht, während im Mittelpunkte der Rolle die Last herabzieht, so heißt sie eine bewegliche Rolle. Eine solche Rolle ist ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt ein Punkt der Peripherie ist, weshalb sie auch bei stattfindender Bewegung ihren Ort im Raume verändert und daher bewegliche Rolle genannt wird. Die Last ist um den Radius, die Kraft aber um den Diameter oder den doppelten Radius vom Drehpunkte entfernt (§ 48, 2); das Gleichgewicht erfordert mithin eine Kraft, welche die Hälfte der Last, wozu das Gewicht der Rolle mit gehört, beträgt, und man sagt: durch die bewegliche Rolle erspart man immer die Hälfte an Kraft.

$$K : L = R : 2R = 1 : 2,$$

$$\text{also } K = {}^1/_2 L.$$

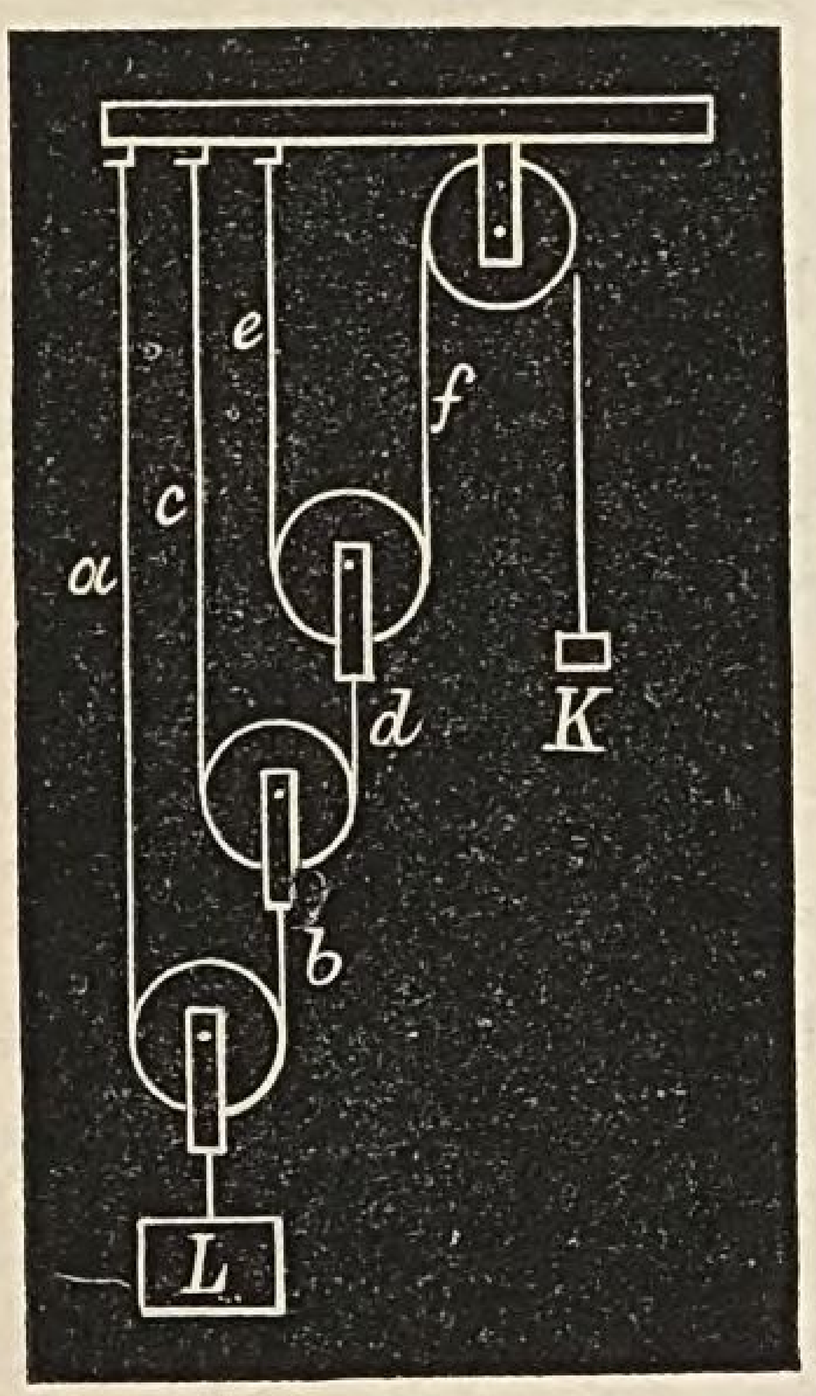
Daß auch $Gk = 2Gl$ ist, übersieht man am deutlichsten, wenn man eine bewegliche Rolle mit einer unbeweglichen verbindet, wie man das auch oft findet, z. B. bei den Straßen-Reverberierlaternen. Soll in Figur 16 die bewegliche Rolle mit der Last (L) 1 m in die Höhe, so müssen sich die Seile a und b jedes um 1 m verkürzen, c also um 2 m verlängern, d. h. die Kraft muß 2 m sinken, indem die Last nur um 1 m steigt.

Figur 16.



56. Wie sich (§ 51) mehrere ungleicharmige Hebel verbinden lassen, um bedeutend an Kraft zu sparen, so läßt sich das auch weit bequemer mit Rollen thun. Die beweglichen Rollen bewirken bei dieser Verbindung die Ersparnis, die unbeweglichen sind gleichsam nur die Fortpflanzer der Ersparnisse. Solche Verbindungen beweglicher und unbeweglicher Rollen heißen Flaschenzüge, von denen hier nur die zwei Hauptarten, der Potenzenflaschenzug und der gemeine Flaschenzug, herausgehoben werden.

Figur 17.



1) Potenzenflaschenzug, Figur 17. Verbindet man eine bewegliche Rolle mit einer unbeweglichen, wie in § 55, so erfordert das Gleichgewicht $K = \frac{L}{2}$. Wird nun das Seil von der beweglichen Rolle, welche zum Gleichgewichte die halbe Last erfordert, noch nicht über die unbewegliche Rolle gezogen, sondern an den Mittelpunkt einer zweiten beweglichen Rolle, die in gehöriger Entfernung für sich in einem eigenen Seile hängt, befestigt, so wird diese zweite Rolle von dem ersten Seile mit $\frac{L}{2}$ herabgezogen, oder, was dasselbe ist: es ist, als hinge an der zweiten Rolle ein Gewicht $= \frac{L}{2}$. Um dieses ins Gleichgewicht zu setzen, ist wieder die Hälfte der Last nötig, d. h. $\frac{L}{2 \,.\, 2} = \frac{L}{2^2}$. Dieses kann nun die Last für eine dritte im eigenen Seile hängende bewegliche Rolle sein, und eine halb so große Kraft, also $\frac{L}{2^2 \,.\, 2} = \frac{L}{2^3}$, wird sie ins Gleichgewicht setzen. Dieses Seil, welches

mit $K = \frac{L}{2^3}$ heraufgezogen werden müßte, um bei drei Rollen das Gleichgewicht zu erhalten, wird, an dem Mittelpunkte einer vierten beweglichen Rolle angebracht, diese mit $\frac{L}{2^3}$ herabziehen, $K = \frac{L}{2^3 . 2} = \frac{L}{2^4}$ wird das Gleichgewicht herstellen; — wird nun nach einer solchen Verbindung von 2, 3, 4 ꝛc. beweglichen Rollen das Seil endlich über eine feste Rolle, die zur Ersparnis der Kraft nichts beiträgt, hinweggezogen, so ergiebt sich der Schluß: Um die Kraft zu finden, die eine Last bei einer solchen Verbindung von Rollen, bei welcher alle bis auf die letzte beweglich sind, ins Gleichgewicht setzt, dividiere man die Last so oft mit 2 (mit 2^n), als bewegliche Rollen (n) da sind, oder was dasselbe sagt, mit der sovielten Potenz von 2, als es die Anzahl der beweglichen Rollen angiebt; also für n bewegliche Rollen:

$$K = \frac{L}{2 . 2 . 2 \ldots (n \text{ Mal})} = \frac{L}{2^n} \text{ oder:}$$

$K : L = 1 : 2^n$, d. h. — ?

Für $L = 800\,\text{kg}$, $n = 3$ ist

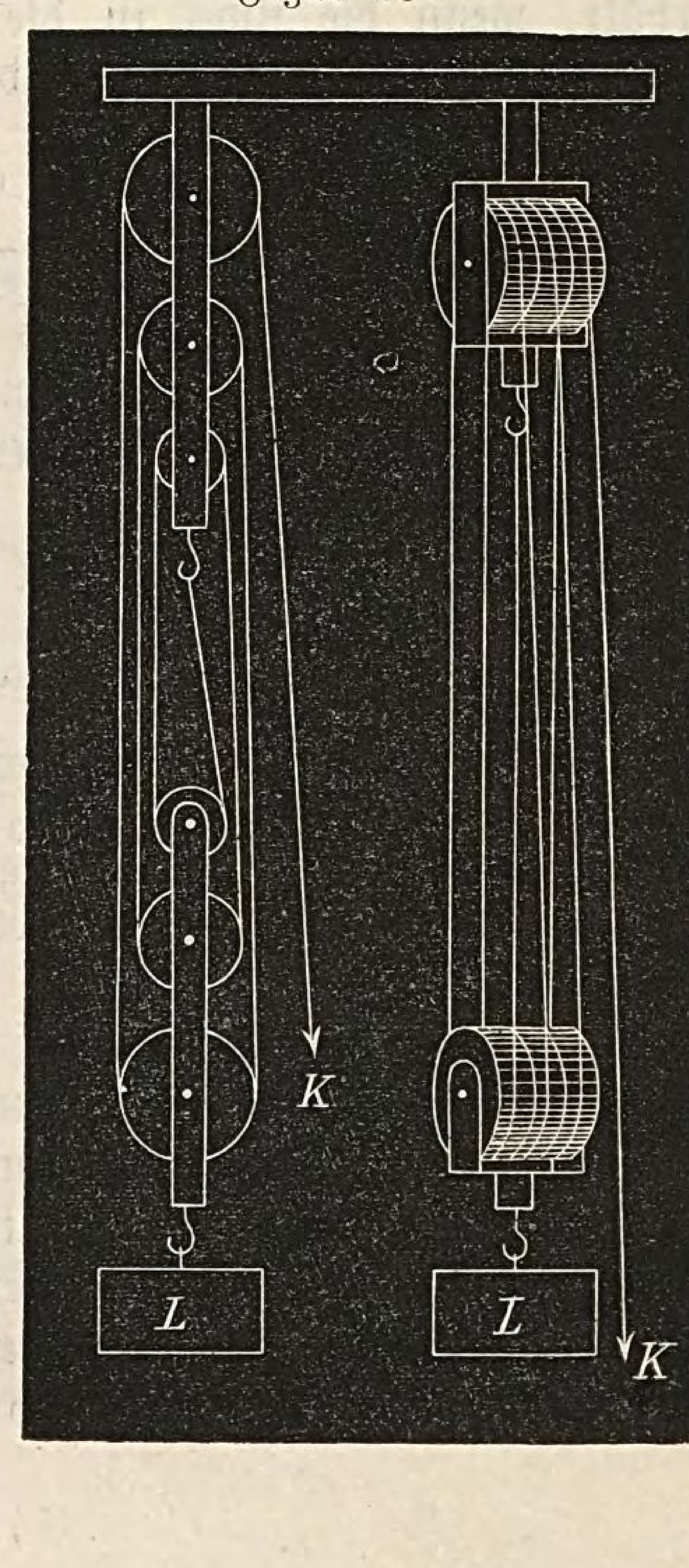
$$K = \frac{800}{2^3} = \frac{800}{8} = 100\,\text{kg}.$$

2) Gemeiner Flaschenzug, Figur 18. Dieser Flaschenzug besteht aus zwei Kloben, d. h. Gehäusen oder Hülsen, in deren einem sich bewegliche, in dem anderen unbewegliche Rollen, über oder neben einander, gewöhnlich in gleicher Anzahl befinden. Den Gang des Seiles ersieht man aus der Figur. Die Last, angebracht an dem unteren oder beweglichen Kloben, wirkt auf alle beweglichen Rollen und verteilt sich zu gleichen Teilen unter sie; bei n beweglichen Rollen also in n gleiche Teile, und jede dieser Rollen bekommt gleichsam $\frac{L}{n}$ zu tragen. Jede Rolle erleichtert aber ihre Last um die Hälfte (§ 55), daher erfordert das Gleichgewicht:

$$K = \frac{L}{2n},$$

d. h. die Kraft ist gleich der Last, dividiert durch die doppelte Anzahl der beweglichen Rollen oder dividiert durch die Anzahl

Figur 18.



der Seile des beweglichen oder unteren Klobens. Daraus folgt auch:

$$K : L = 1 : 2n,\ \text{d. h.}\ —?$$

Für $L = 600\,kg$ und $n = 3$ ist

$$K = \frac{600}{2 \,.\, 3} = 100\,kg.$$

Beim Potenzenflaschenzuge von drei beweglichen Rollen wurden 800 kg mit 100 kg, also 8 kg mit 1 kg, beim gemeinen Flaschenzuge von eben so vielen beweglichen Rollen dagegen nur 600 kg mit 100 kg, also nur 6 kg mit 1 kg ins Gleichgewicht gesetzt, und doch ist dieser gebräuchlicher als jener, welcher bei verschiedener Geschwindigkeit seiner Rollen mehr Raum erfordert, was 3) und 4) deutlich machen.

3) Steigt beim Potenzenflaschenzuge die Last, also auch die erste Rolle 1 m, so verkürzt sich das Seil a um 1 m, b verlängert sich um diesen 1 m, indem es zugleich um 1 m für sich heraufrückt, die zweite Rolle rückt also um 2 m in die Höhe; das Seil c muß sich deshalb um 2 m verkürzen, d um diese 2 m verlängern, und zugleich für sich um 2 m in die Höhe gehen, also die dritte Rolle um 4 m in die Höhe rücken; diese Rolle kann nur dann um 4 m heraufrücken, wenn sich die Seile e und f jedes um 4 m verkürzen, die Kraft also 8 m ($= 2^3$) herabwärts geht. Überhaupt übertrifft der zurückgelegte Weg der Kraft den der Last so viele Male, als es diejenige Zahl anzeigt, welche man erhält, wenn die Zwei in die sovielte Potenz erhoben wird, als bewegliche Rollen vorhanden sind.

Aus $K = \frac{L}{2^n}$ folgt also auch hier: $Gk = 2^n \,.\, Gl$.

4) Soll beim gemeinen Flaschenzuge die Last steigen, so ist von selbst einleuchtend, daß dieses nur dann möglich ist, wenn sich jedes Seil des unteren Klobens um so ein Stück verkürzt, als die beiden Kloben einander näher kommen sollen, die Kraft also so viele Male dieses Stück zurücklegt, als in jenem Seile vorhanden sind, mithin bei n beweglichen Rollen 2 n Mal das Stück.

Aus $K = \frac{L}{2n}$ folgt also auch hier: $Gk = 2n \,.\, Gl$.

In beiden Fällen entsprechend dem Gesetz § 48, 1.

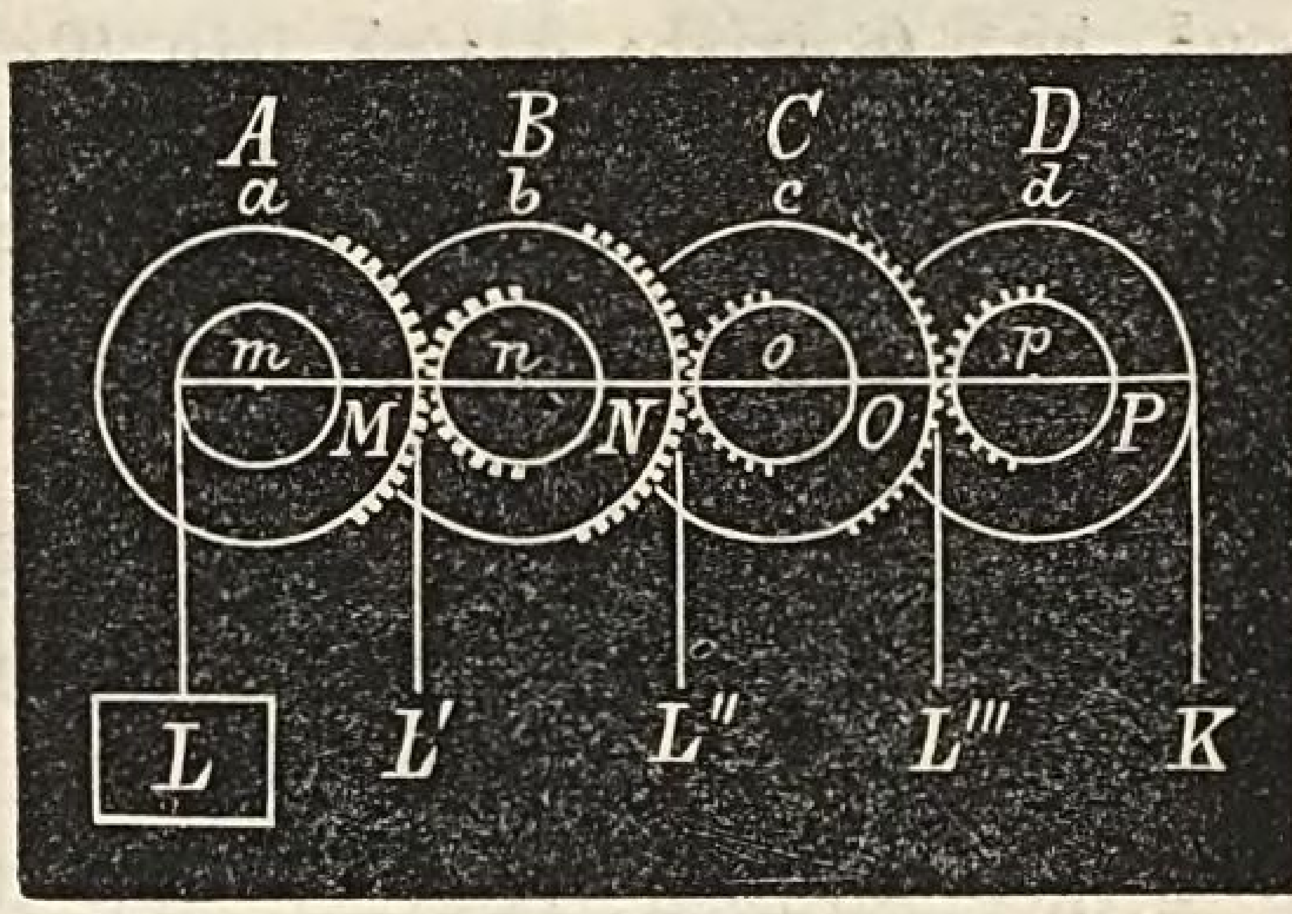
Der Potenzenflaschenzug wird nur gebraucht, wo man schon durch geringe Hebung der Last den bestimmten Zweck erreicht, z. B. auf Seeschiffen — überall, wo Lasten auf größere Höhen gehoben werden sollen, wird der gemeine Flaschenzug gebraucht.

57. **Gezahnte Räder** sind Räder, auf deren Umfange sich Vertiefungen und Hervorragungen in immer gleichen Entfernungen befinden. Diese Hervorragungen heißen **Zähne** im allgemeinen. Werden zwei gezahnte Räder so gestellt, daß die Zähne des einen in die Vertiefungen des anderen eingreifen können, so setzt das eine in Bewegung gebrachte Rad auch das andere in Bewegung. Ein Gleiches findet statt, wenn ein gezahntes Rad und eine **gezahnte Stange** in ein=

ander greifen. Eine Vereinigung von gezahnten Rädern oder gezahnten Rädern mit gezahnten Stangen heißt ein Räderwerk. Befinden sich dabei an einer und derselben Achse oder Welle zwei ungleich große gezahnte Räder, so heißt das größere vorzugsweise Rad, und seine Zähne: Zähne schlechtweg; das kleinere aber Getriebe, so wie seine Zähne: Triebstöcke.

58. a. Bringt man mehrere Paare von Rädern und Getrieben so an einander, daß immer ein Rad in das nächste Getriebe eingreift, so bewirkt ein solches Räderwerk eine große Kraftersparnis. Um die Welle a des Rades A in Figur 19 ist ein Seil gelegt, an dem die zu hebende Last hängt. Die Räder greifen in einander, wie es die Figur zeigt. Das letzte Getriebe hat eine Kurbel oder ein Rad, an dessen Peripherie eine Kraft K wirkt. Die Berechnung der Kraftersparnis geschieht, alle Reibung abgerechnet, wie bei der Verbindung mehrerer ungleicharmiger Hebel (§ 51). Hätten die Welle a und die Getriebe b, c, d die Radien m, n, o, p; die Räder A, B, C, D nach der Reihe aber die Radien M, N, O, P, so steht:

Figur 19.



$$\begin{aligned} K &: L''' = p : P \\ L''' &: L'' = o : O \\ L'' &: L' = n : N \\ L' &: L = m : M \\ \hline \text{also } K &: L = p \,.\, o \,.\, n \,.\, m : P \,.\, O \,.\, N \,.\, M, \end{aligned}$$

d. h. die Kraft verhält sich zur Last, wie das Produkt der Radien der Getriebe zum Produkte der Radien der Räder, also $K = \frac{p \,.\, o \,.\, n \,.\, m}{P \,.\, O \,.\, N \,.\, M} \,.\, L$. Wäre hier das Verhältnis der Radien der Getriebe zu denen der Räder immer dasselbe m : n, so stünde:

$$K : L = m^4 : n^4; \text{ also } K = \frac{m^4}{n^4} \,.\, L, \text{ d. h. } -?$$

Wäre endlich m : n = 1 : z, so stünde:

$$K : L = 1 : z^4; \text{ also } K = \frac{L}{z^4}, \text{ d. h. } -?$$

Bei 1 : z = 1 : 6 wäre:

$$K = \frac{L}{6^4} = \frac{L}{1296},$$ d. h. mit 1 kg könnte man 1296 kg ins Gleichgewicht setzen.

Den mechanischen Nachteil ergiebt folgende Überlegung: Da das Rad mehr Zähne als das Getriebe Triebstöcke hat, ein Zahn aber auch immer nur einen Triebstock weiter schiebt, so muß sich offenbar

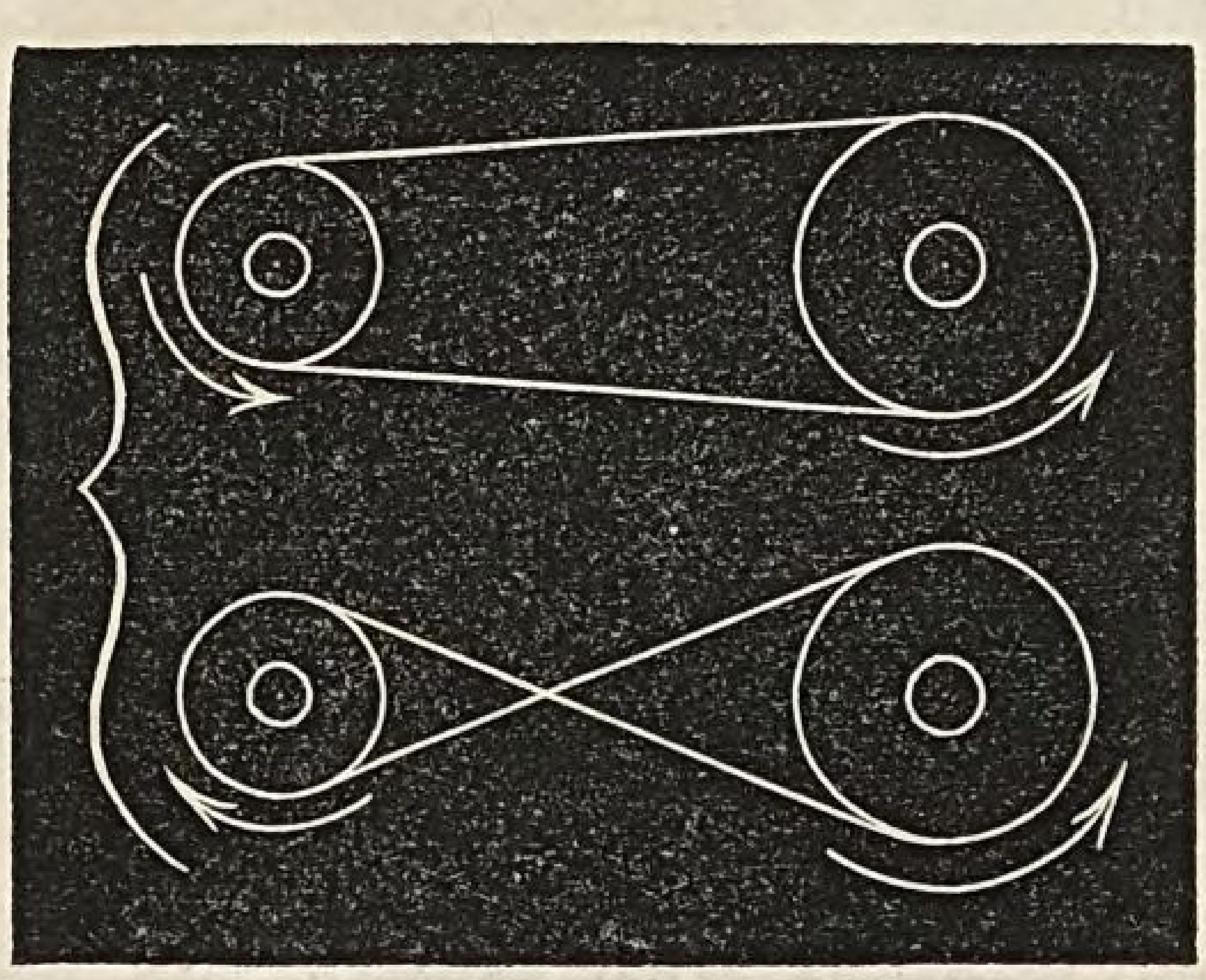
das Getriebe während einer Umdrehung des Rades so oft umdrehen, als so vielmal die Anzahl der Triebstöcke in der Anzahl der Zähne enthalten ist; also bei 40 Zähnen und 8 Triebstöcken wird das Getriebe 5 Umwälzungen machen, während das Rad nur eine macht, d. h. die Anzahl der Umdrehungen in einander greifender Räder, in derselben Zeit, verhalten sich zu einander umgekehrt wie die Anzahl ihrer Zähne.

Wenn bei dieser Verbindung alle Räder n Mal mehr Zähne als die Getriebe Triebstöcke haben, so kann man, da während einer Umdrehung eines Getriebes und seines zugehörigen Rades das nächste Getriebe n Umdrehungen macht, so urteilen: Macht die Welle a, also auch das Rad A, eine Umdrehung, so muß das Getriebe b und sein Rad B deren n machen, das Getriebe c und sein Rad C aber $n \,.\, n = n^2$, das Getriebe d und sein Rad oder die Kurbel D endlich $n \,.\, n^2 = n^3$ Umdrehungen, d. h. die Kurbel oder das Rad, an welchem die Kraft wirkt, muß n^3 Umdrehungen machen, damit die Welle a, an welcher die Last hängt, nur eine Umdrehung mache, oder die Kraft muß sich um n^3 Peripherien des Rades oder der Kurbel D herabbewegen, wenn die Last um die Peripherie der Welle heraufgezogen werden soll. Beträgt die Peripherie der Welle x Meter, die des Rades D also nx Meter, so würde die Kraft $n^3 \,.\, nx = n^4x$ Meter zurücklegen müssen, wenn die Last um x Meter gehoben werden sollte; nimmt man daher $x = 1\,m$ und $n = 6$ an, so müßte die Kraft sich $6^4 \,.\, 1\,m = 1296\,m$ bewegen, um die Last um 1 m zu heben, also:

$$K = \frac{L}{n^4} \text{ und } Gk = n^4 \,.\, Gl.$$

Da sich die Räder desto schneller bewegen, je entfernter sie von der Welle, an der die Last hängt, sind, so sieht man zugleich ein, wie eine solche Verbindung der Räder und Getriebe zur Hervorbringung bedeutender Geschwindigkeit dienen kann. Die Geschwindigkeit des letzten Rades verhält sich zu der des ersten, wie das Produkt der Anzahl der Zähne aller Räder zum Produkte der Anzahl der Triebstöcke aller Getriebe.

Figur 20.



b. Außer der bis jetzt betrachteten Art, die Bewegung eines Rades auf ein anderes, mittelst der Zähne, fortzupflanzen, giebt es noch eine zweite Art, nämlich mittelst zusammenhängender, um die Räder gelegten Schnüre, Stricke, Seile, Riemen oder Ketten, wobei die Reibung derselben in den auf den Umkreisen der Räder angebrachten Rinnen als das Fortpflanzungsmittel der Bewegung benutzt wird. Jener Art bedient man sich, wenn sich die Räder berühren, dieser aber, wenn sie von einander entfernt sind. Dabei legt man die

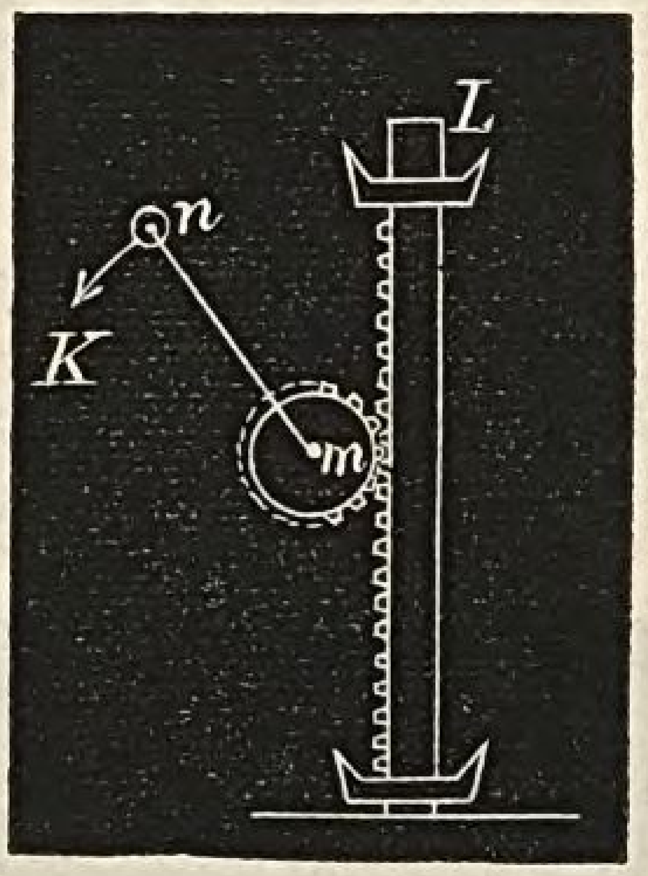
Riemen so um die Räder, daß sie sich zwischen denselben kreuzen oder nicht kreuzen, je nachdem sich die Räder nach entgegengesetzter oder nach derselben Richtung drehen sollen, wie nebenstehende Figur zeigt.

Spinnmaschinen, Schleifmühlen, Drehbänke.

59. Den Gebrauch der gezahnten Stange sieht man deutlich an der Fuhrmannswinde oder einfachen Winde und an der zusammengesetzten Winde.

1) Die einfache Winde besteht aus einer beweglichen gezahnten Stange, einem in sie greifenden Getriebe und einer Kurbel. Das durch die Kurbel bewegte Getriebe schiebt die Stange, mit welcher die Last ober- oder unterwärts verbunden ist, herauf und herunter. Verhält sich in Figur 21 die Kurbellänge zu dem Radius des Getriebes wie n : m, so steht:

Figur 21.



$$K : L = m : n, \text{ also } K = \frac{m}{n} \cdot L,$$

also bei $m : n = 1 : z = 1 : 6$

$$K = \frac{L}{z} = \frac{L}{6}.$$

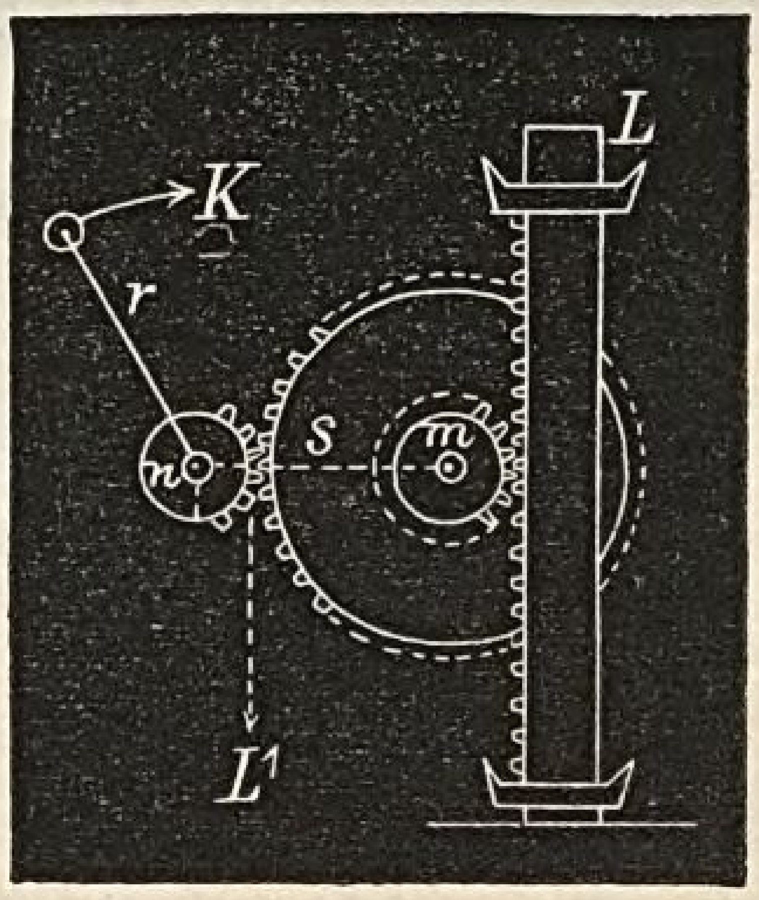
Bei einer Umdrehung der Kurbel rückt die Stange, also auch die mit ihr verbundene Last, um die Peripherie des Getriebes herauf oder herunter und bei dem Radienverhältnisse 1 : z steht:

$$Gk : Gl = z : 1, \text{ also } Gk = z\,Gl$$

$$\text{und bei } 1 : 6, \text{ mithin } Gk = 6\,Gl.$$

Argand'sche Lampen. — Die größeren einstiefligen Luftpumpen (§ 134) enthalten eine gezahnte Stange und ein Getriebe; die zweistiefligen dagegen ein Getriebe zwischen zwei gezahnten Stangen, deren Bewegung daher nach entgegengesetzten Richtungen geschieht.

Figur 22.



2) Die zusammengesetzte Winde in Figur 22 besteht aus einer Kurbel, zwei Getrieben, einem Rade und einer gezahnten Stange, die wieder der bewegliche Teil ist. Die Kurbel wirkt auf ein Getriebe, dieses greift in ein Rad, und dessen Getriebe in die zu bewegende Stange, mit welcher die Last verbunden ist. Diese Figur ergiebt:

$$\left.\begin{array}{l} K : L' = n : r \\ L' : L = m : s \\ \hline K : L = mn : rs \end{array}\right\} \text{ also } K = \frac{mn}{rs} \cdot L$$

$r = s = 6$ und $n = m = 1$ gesetzt, giebt:

$$K = \frac{L}{6 \cdot 6} = \frac{L}{36}.$$

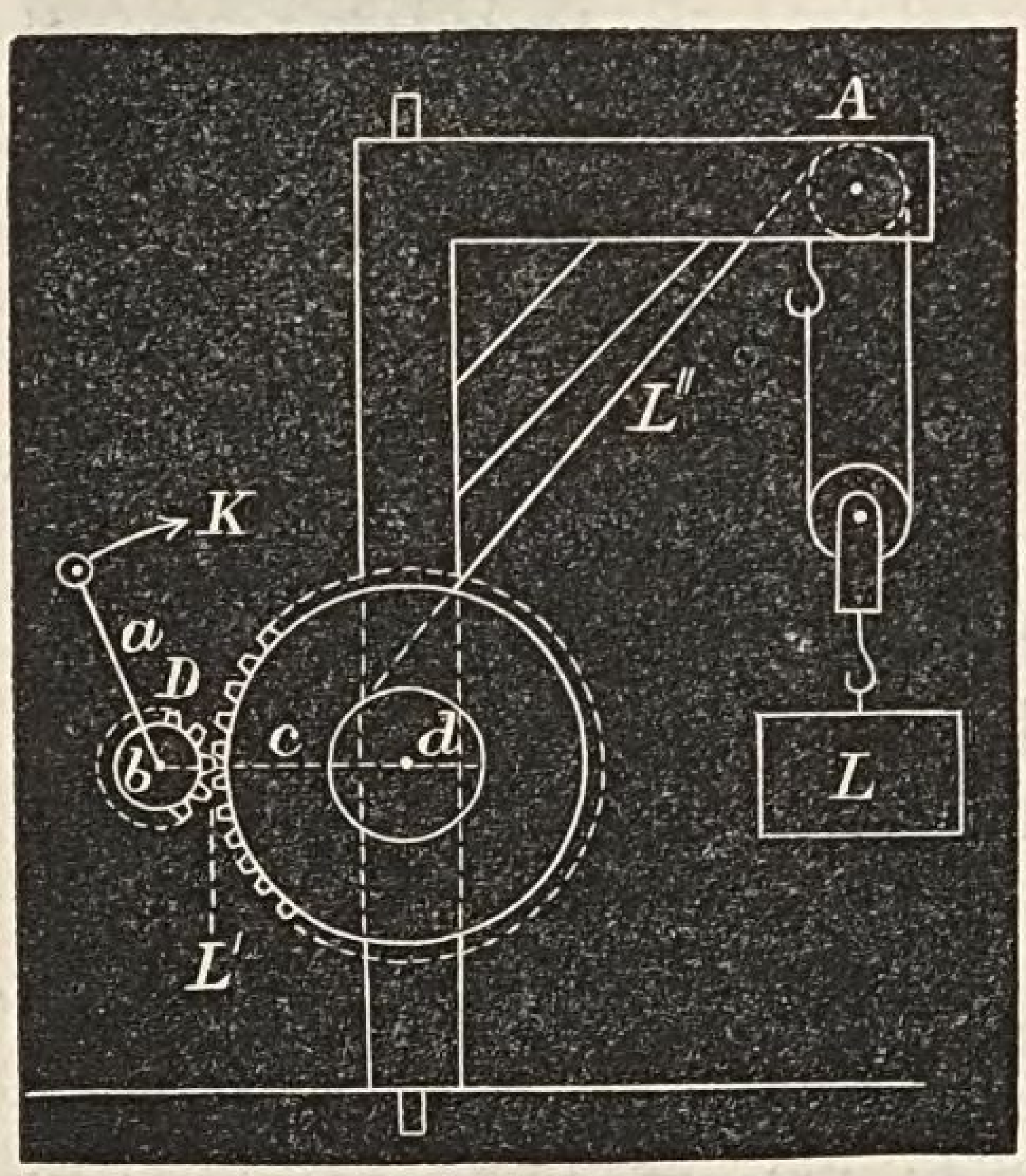
Soll hier die Last oder die sie hebende Stange um die Peripherie des in sie greifenden Getriebes in die Höhe gehen, so muß dieses

mit seinem Rade eine Umdrehung machen, die Kurbel aber und das durch sie bewegte und auf das Rad wirkende Getriebe so viele Umdrehungen, als oft der Radius dieses Getriebes in dem des Rades enthalten ist, also wenn s = 6 und n = 1 ist, 6 Umdrehungen. Da aber auch r = 6 ist, so ist die Peripherie der Kurbel 6 Mal größer, als die des Getriebes, und 6 Umdrehungen der Kurbel machen also das 36fache einer Umdrehung des in die Stange eingreifenden Getriebes, d. h. steigt die Last 1 cm in die Höhe, so muß die Kraft 36 cm zurücklegen; also überhaupt:

$$K = \frac{mn}{rs} \cdot L \text{ und } Gk = \frac{rs}{mn} \cdot Gl.$$

60. Der Kranich oder Krahn ist eine Maschine, die man oft zu sehen Gelegenheit hat, namentlich an schiffbaren Flüssen, an denjenigen Stellen, wo Schiffe mit großen Lasten beladen und aus ihnen große Lasten ans Ufer ausgeladen werden. Diese Maschine hat die doppelte Bestimmung: Lasten mit Kraftersparnis zu heben und sie darauf seitwärts zu bewegen. Durch die Kurbel in Figur 23 bewegt man das Getriebe D, welches in das Rad C eingreift, um dessen Welle ein Seil gewickelt ist, welches von da über die feste Rolle A und eine bewegliche Rolle B geht, an welcher die Last L hängt. Heißen die Radien der Kurbel, des Getriebes, des Rades und der Welle a, b, c, d, ist a : b = 8 : 1, c : d = 10 : 1, so ist, wenn der allgemeine und besondere Fall zusammengefaßt werden:

Figur 23.



$$\begin{array}{lllll} K & : L' & = b & : a & \text{hier} = 1 : 8 \\ L' & : L'' & = d & : c & \text{hier} = 1 : 10 \\ L'' & : L & = 1 & : 2 & \text{hier} = 1 : 2 \\ \hline K & : L & = bd & : ac \,.\, 2, & \text{hier} = 1 \,.\, 1 \,.\, 1 : 8 \,.\, 10 \,.\, 2. \end{array}$$

$$\text{also } K = \frac{b \,.\, d}{a\, c \,.\, 2} \,.\, L \text{ und}$$

$$\text{hier } K = \frac{L}{160} \text{ und } L = 160\ K.$$

Eine Menschenkraft von 20 kg würde also eine Last von 160 . 20 = 3200 kg im Gleichgewichte halten.

Nimmt man die Peripherie der Welle und des Getriebes = 30 cm, so läßt sich der mechanische Nachteil so beurteilen: Rückt die Last 30 cm in die Höhe, so verlängert sich das Seil um 60 cm; damit nun die Welle diese 60 cm Verlängerung des Seils aufwickeln könne, muß sie, so wie ihr Rad 2 Umdrehungen, das Getriebe und die Kurbel aber

10 . 2 = 20 Umdrehungen machen. 20 Peripherien der Kurbel sind aber = 8 . 20 Peripherien des Getriebes, d. h. = 8 . 20 . 30 cm = 4800 cm, also auch hier: $K = \frac{30\,L}{4800} = \frac{L}{160}$ und $G\,k = 160\,G\,l$.

In allen diesen Fällen zeigt sich, wie § 48, 1, das Gesetz: was man an Kraft gewinnt, verliert man an Geschwindigkeit.

Wenn die winkelförmige Balkenverbindung, an welcher sich das ganze Räderwerk befindet, an dem senkrechten Teile oben und unten mit Zapfen versehen ist, die sich in festen Lagern bewegen, so ist die horizontale Bewegung des ganzen Krahns durch Zug oder Druck von der Seite her leicht zu bewirken.

---

3. Von dem Schwerpunkte.

61. Da bei einem Körper jedes Massenteilchen durch seine Schwerkraft wirkt, so kann man nach den Gesetzen eines Hebels einen Punkt finden, durch dessen Unterstützung die Kräfte im Gleichgewicht gehalten werden, auf welchen dann die ganze Schwere des Körpers wirkt und in welchem man sich die ganze Masse desselben vereinigt denken kann; ist dieser Punkt unterstützt, so befindet sich der Körper in Ruhe und im Gleichgewicht. Diesen Punkt nennt man den Schwerpunkt des Körpers, er ist der Mittelpunkt seiner Masse, welcher aber nicht mit dem Mittelpunkt seiner Größe zu verwechseln ist. Man kann sich die Sache so vorstellen: Jeder feste Körper ist ein Aggregat von durch die Kohäsion zusammenhängenden Körperteilchen oder materiellen Punkten. Denkt man sich zuerst zwei derselben von völlig gleichem Gewichte, so werden sie im Gleichgewichte sein, wenn die sie verbindende gerade Linie im Halbierungspunkte, welcher sich notwendig in der Resultierenden befindet, unterstützt wird; der Punkt, auf welchem dieser Unterstützungspunkt ruhend gedacht wird, wird so stark gedrückt werden, wie wenn beide Körperteilchen auf ihm ruhten. Denkt man sich ferner die Summe dieser beiden Körperteilchen mit einem beliebigen dritten auf ähnliche Weise verbunden, so wird es auch für sie einen Punkt geben, in Bezug auf welchen die statischen Momente gleich sind, und in welchem wir uns die Gewichte aller drei Körperteilchen vereinigt denken. Durch Hinzunahme eines vierten, sodann eines fünften 2c. Punktes werden wir in der Vorstellung zuletzt auf einen solchen Punkt geführt, in welchem die Gewichte sämmtlicher Körperteile vereinigt gedacht werden können, und welcher der Schwerpunkt des Körpers ist. Der Schwerpunkt ist daher immer ein Punkt der Resultierenden der Wirkungen der Schwere sämmtlicher Körperteile. Er ist immer, so lange die Teile des Körpers eine unveränderte Lage behalten, ein unwandelbar fester Punkt, die Richtung der Resultierenden dagegen fällt in Bezug auf den Körper verschieden, je nachdem man ihn hält oder aufhängt. Der Durch-

schnittspunkt zweier solcher Richtungen der Resultierenden ist der Schwerpunkt.

Eine aus homogener Materie gleichmäßig gearbeitete Kreisscheibe im Mittelpunkte, eine viereckige Scheibe von überall gleicher Dicke in Form eines Parallelogrammes im Durchschnittspunkte der beiden Diagonalen, eine dreieckige im Durchschnittspunkte der von zwei Winkeln nach den Halbierungspunkten der Gegenseiten gezogenen Linien (Transversalen), auf eine Nadelspitze gestellt, ruhen. Bei einem solchen Dreieck liegt der Schwerpunkt in der Transversale, $1/3$ derselben von der Grundlinie entfernt. Durch Teilung jeder geradlinigen Figur in Dreiecke und Anwendung der Hebelgesetze findet man den Schwerpunkt einer solchen Figur. Bei einer dreiseitigen Pyramide, desgleichen beim Kegel befindet sich der Schwerpunkt in der Linie, welche man von der Spitze nach dem Schwerpunkt der Grundfläche zieht, um $1/4$ dieser Linie von der Grundfläche entfernt: doch immer unter der Voraussetzung, daß der Körper aus einer völlig gleichartigen Masse besteht. — Kugel, Prisma, Cylinder. — Durch Versuche findet man den Schwerpunkt eines Körpers, wenn man ihn mittelst eines Fadens an zwei verschiedenen Punkten nacheinander aufhängt. Der Durchschnittspunkt der beiden verlängerten Fäden giebt, da sie die Richtungen der Resultierenden vorstellen, den Schwerpunkt.

Die Unterstützung kann im Schwerpunkte selbst, auch senkrecht **unter** oder senkrecht **über** demselben angebracht sein, in welchem letzteren Falle man den Körper **aufgehangen** nennt.

Fallen Schwerpunkt und Unterstützungspunkt oder Drehpunkt zusammen, wie bei einer Kreisscheibe aus homogener Masse von überall gleicher Dicke, durch deren Mittelpunkt eine Achse geht, so bleibt der Körper in jeder Lage ruhen; liegt der Schwerpunkt unter dem Unterstützungspunkte, wie bei einer an einem Faden hängenden Bleikugel, so bewegt sich der Körper, aus der lotrechten Lage gebracht, hin und her wie ein Pendel und kommt nach längerer oder kürzerer Zeit in dieser lotrechten Lage, in welcher sein Schwerpunkt die möglichst tiefste Stelle einnimmt, zur Ruhe; liegt endlich der Schwerpunkt über dem Unterstützungspunkte, so muß der Körper, aus seiner Lage gebracht, fallen, da sein Schwerpunkt sinkt — es tritt dann unter geeigneten Umständen oft der zweite Fall ein, in welchem der Körper um den Unterstützungspunkt pendelartig schwingt.

Dieses indifferente, stabile und nicht stabile oder labile Gleichgewicht zu zeigen, eignet sich am besten eine Hebelvorrichtung mit verschiebbarem Drehpunkte. — Eine gleichmäßig gearbeitete Holzscheibe mit runden Löchern im Mittelpunkte und außerhalb desselben, und ein dazu gehörendes rundes Stäbchen von etwas kleinerem Durchmesser, als die Weite der Löcher. — Doppelscheibe mit einem Bleigewichte dazwischen außerhalb des Mittelpunktes — Rollampe von **Cardanus**, der Schiffskompaß, das schwimmende Licht, der Sägemann, der schaukelnde Vogel, daß schaukelnde Roß. Ein Doppelkegel auf zwei divergent liegende und eine schiefe Ebene bildende Leisten gelegt, scheint heraufzurollen; in der That sinkt aber der Schwerpunkt, je näher der Kegel dem breiten Ende der schiefen Ebene kommt; eben so bewegt sich ein Cylinder auf einer schiefen Ebene herauf, wenn sein Schwerpunkt außerhalb der Achse liegt. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn eine Billardkugel auf zwei divergierende Billardstäbe gelegt wird.

62. Der senkrecht unter seinem Schwerpunkt unterstützte, also im labilen Gleichgewichte sich befindende Körper fällt, sobald er oder die Unterstützung durch irgend eine äußere Veranlassung (z. B. Stoß, Luftbewegung) aus ihrer Lage kommen, nach der Seite hin, wo sich der

Schwerpunkt befindet; um dieses zu verhindern, unterstützt man eine ganze Fläche um den Unterstützungspunkt. Je größer die **Unterstützungsfläche** ist, desto fester steht der Körper.

Auf einem Beine stehen wir weniger sicher, als auf beiden. — Wir stellen die Beine weit auseinander, wenn wir feststehen wollen. — Seeleute und Fechter stehen bei ihren Geschäften mit ausgespreizten Beinen. — Vierfüßige Tiere stehen fester, als zweifüßige. — Tische, Stühle, Bänke.

63. Der Schwerpunkt eines auf einer seiner Flächen ruhenden Körpers ist so lange als unterstützt zu betrachten, als die durch den Schwerpunkt senkrecht gezogene Linie (Fallinie oder Richtungslinie der Schwere) noch die Grundfläche trifft; fällt sie aber außerhalb derselben, so fällt der Körper um. Je größer die unterstützende Grundfläche ist, je näher an ihr der Schwerpunkt liegt, und je größer das Gewicht des Körpers ist, desto größer ist die Sicherheit seines Standes oder seine **Stabilität**, weil eine desto größere Kraft beim Umwerfen desselben dazu gehört, die Richtungslinie der Schwere außerhalb der Basis zu bringen.

Ein hochbeladener Wagen wirft leichter um, als ein niedrig beladener. — Pyramiden und Kegel stehen fester, als gleich hohe Prismen und Cylinder, denn bei jenen ist der Schwerpunkt von der Grundfläche nur um $^1/_4$ der Höhe, bei diesen aber um $^1/_2$ derselben entfernt. (Ägyptischer Pyramidenbau.) Ein Degen ist auf der Spitze leichter zu balancieren, als auf dem Kopfe. — Wenn der Wagen beim Fahren umzuwerfen droht, ist es am besten, sitzen zu bleiben; denn durch das Aufstehen wird der Schwerpunkt des Ganzen gehoben. Auf den Schiffen wird der Ballast ganz unten gelegt. — Der ca. 60 m hohe Turm zu Pisa liegt 4 m und der 52 m hohe zu Bologna liegt 2 m über, aber beide stehen fest.

64. Es ist auf die Lage des Schwerpunktes von Einfluß, ob der Körper durchgängig von derselben Dichtigkeit ist oder nicht. Im letzteren Falle fällt er immer dem dichteren Teile näher oder gar in ihn hinein. Auch giebt es Körper, deren Schwerpunkt ganz außerhalb derselben liegt.

Stehaufmännchen, Stehaufgläser, falsche Würfel — Eimer, Ringe, Triangel.

65. So wie sich die Masse eines Körpers anders verteilt, oder die Teile derselben ihre Lage gegen einander ändern, ändert sich auch die Lage des Schwerpunktes, was wir am deutlichsten an uns selbst beobachten können.

Beim geraden Stehen fällt der Schwerpunkt des menschlichen Körpers ungefähr in die Mitte des Unterleibes; anders aber verhält es sich beim Sitzen, Gehen, beim Hinaufsteigen einer Treppe oder eines Berges, oder beim Heruntergehen von demselben; anders, wenn man eine Last auf der Brust, als wenn man sie auf dem Rücken, auf der rechten oder linken Achsel trägt. Das Gehenlernen, Tanzen, Stelzenlaufen, Schlittschuhlaufen, Seiltanzen, Balancieren. — Federn, Stecknadeln, überhaupt leichte und kurze Körper zu balancieren, ist darum so schwer, weil man, da sie in kleineren Bogen und deshalb schneller als lange Körper fallen, nicht geschwind genug fühlt, nach welcher Seite sie fallen. Wie kann man einen Menschen setzen, daß er nicht aufstehen? wie stellen, daß er auf einem Beine nicht stehen, und wie stellen, daß er mit seinen Händen etwas vor sich Liegendes nicht aufheben kann? Da der Schwerpunkt eines Gewehres nicht in der Mitte seiner Länge, sondern in der Kolbenhälfte liegt, so hat die Last, wenn wir es am Laufe halten, von dem Drehpunkte, dem Elbogen,

eine größere Entfernung, als wenn wir es am Kolben halten; erfordert also dort eine größere Kraftanstrengung, als hier. (§ 49.)

---

4. Von dem freien Falle der Körper.

66. Wenn eine momentan wirkende Kraft einen Körper in Bewegung setzt, gleichsam durch einen einzigen Stoß, sodann aber auf ihn zu wirken aufhört, so nimmt er nach dem Beharrungsvermögen (§ 28) eine gleichförmige Bewegung an; wirkt aber eine an Stärke sich gleichbleibende Kraft ununterbrochen in der Richtung seiner Bewegung auf ihn so lange, als er sich bewegt, so muß seine Bewegung eine gleichmäßig beschleunigte werden. Eine solche mit gleicher Stärke ununterbrochen fortwirkende oder stetig wirkende Kraft ist die Erdschwere; da man wohl annehmen kann, daß sie bei den im ganzen geringen Höhen (§. 72), von welchen Körper auf unsere Erde gewöhnlich herabfallen, sich an Stärke an allen Stellen gleichbleibt. Die Bewegung eines frei fallenden Körpers ist daher eine gleichmäßig beschleunigte. Die in folgenden Paragraphen enthaltenen vier Hauptgesetze des freien Falles der Körper lehrte zuerst Galilei (1564 bis 1642).

67. Die Räume vom Anfange des Falles an gerechnet, oder die Räume der ganzen Zeiten nehmen zu, wie die Quadrate der Zeiten, also wie 1, 4, 9, 16 u. s. w., d. h. ein Körper fällt in zwei Sekunden durch einen vier Mal, in drei Sekunden durch einen neun Mal, in vier Sekunden durch einen sechzehn Mal so großen Raum u. s. w. als in der ersten Sekunde; also bei uns, wo der Fallraum der ersten Sekunde ungefähr 4,9 m (genau 4,9045 Meter) beträgt,

in 1 Sekunde $1 \,.\, 4{,}9 = 4{,}9$ m
in 2 Sekunden $4 \,.\, 4{,}9 = 19{,}6$ m
in 3 Sekunden $9 \,.\, 4{,}9 = 44{,}1$ m u. s. w.

Heißt der Fallraum der ersten Sekunde allgemein g, so durchfällt ein frei fallender Körper in 1, 2, 3, 4 ... t Sekunden die Räume g, 4g, 9g, 16g ... t^2 g. Bezeichnet h den Fallraum von t Sekunden, so ist: $h = gt^2$ und $t = \sqrt{\frac{h}{g}}$. Wie findet man also die Fallhöhe aus der beobachtenden Fallzeit, und wie diese aus der gegebenen Fallhöhe, wenn in beiden Fällen auch der Fallraum der ersten Sekunde bekannt ist?

Wie hoch ist ein Turm, wenn von dessen Gipfel bis zur Erde ein Stein in 5 Sekunden fällt? und wie tief ein Brunnen, wenn man einen Stein in 2 Sekunden, von dem Augenblicke an gerechnet, wo man ihn aus der Hand läßt, auf das Wasser aufschlagen sieht? (122,5 m und 19,6 m.) In welcher Zeit würde ein Körper durch eine Höhe von 176,4 m fallen? (in 6 Sekunden.) —

Obiges Gesetz kann so bewiesen werden. Teilt man eine Sekunde in n, sehr kleine Zeitteilchen = a, und denkt sich, daß die Schwere auf den fallenden

Körper in jedem Zeitteilchen von neuem in unveränderter Stärke, gleichsam stoßend, wirkt, so daß der Körper seine Geschwindigkeit in jedem Zeitteilchen a um den Weg w vermehrt, so legt er in dem

1sten a den Weg — — — = w zurück,

2ten a durch das Beharrungsvermögen w, durch die neue Einwirkung der Schwere auch w, also zusammen 2w zurück,

3ten a durch das Beharrungsvermögen 2w, durch die neue Einwirkung der Schwere w, also = 3w u. s. w.,

also in dem letzten a der Sekunde oder dem

nten a — — $(n-1)\,w + w = nw$.

Gehen wir in die zweite Sekunde über, so legt der Körper in dem

1sten a derselben oder dem $(n+1)$ten a vom Anfange an $nw + w = (n+1)\,w$,

2ten a derselben oder dem $(n+2)$ten a vom Anfange an $(n+1)\,w + w = (n+2)\,w$,

nten a derselben oder dem $(n+n)$ten = 2nten a überhaupt $(2n-1)\,w + w = 2nw$,

also in dem

nten a = nw,

2nten a = $2nw$,

3nten a = $3nw$, überhaupt in dem

Tnten a = $Tnw = nTw$,

tnten a = $tnw = ntw$.

Ist nun H der Fallraum für die Zeit T, so wie h der Fallraum für die Zeit t, so ist:

$$H = w + 2w + 3w \ldots nTw = w\,(1 + 2 + 3 \ldots nT) = w(1 + nT) \cdot \frac{nT}{2} \text{ und}$$

$$h = w + 2w + 3w \ldots ntw = w\,(1 + nt) \cdot \frac{nt}{2} \text{ mithin}$$

$$H : h = w\,(1 + nT) \cdot \frac{nT}{2} : w\,(1 + nt)\,\frac{nt}{2} = (1 + nT) \cdot T : (1 + nt) \cdot t$$

$$H : h = \frac{1 + nT}{n} \cdot T : \frac{1 + nt}{n} \cdot t = \left(\frac{1}{n} + T\right) T : \left(\frac{1}{n} + t\right) t;$$

und da $\frac{1}{n}$ außerordentlich klein ist:

$H : h = T \cdot T : t \cdot t = T^2 : t^2$, d. h. die Fallräume der ganzen Zeiten verhalten sich zu einander wie die Quadrate der Zeiten.

$T = 1$ und H in der ersten Sekunde $= g$ gesetzt, giebt: $g : h = 1 : t^2$, und hieraus folgt $h = gt^2$.

68. **Die Räume der einzelnen Zeiten nehmen zu, wie die ungeraden Zahlen, also wie 1, 3, 5, 7 u. s. w.**, d. h. ein frei fallender Körper fällt in der zweiten Sekunde seines Falles durch einen drei Mal, in der dritten Sekunde durch einen fünf Mal so großen Raum, als in der ersten Sekunde u. s. w., also in jeder Sekunde um den doppelten Fallraum der ersten Sekunde mehr als in der vorhergehenden; überhaupt in jeder Sekunde so oft Mal den Fallraum der ersten Sekunde, als es die durch sie bezeichnete ungerade Zahl angiebt: also bei uns:

in der 1sten Sekunde — 1 . 4,9 m = 4,9

— 2ten — — 3 . 4,9 m = 14,7

— 3ten — — 5 . 4,9 m = 24,5 u. s. w.

Bezeichnet man mit g wieder allgemein den Fallraum der ersten Sekunde, so durchfällt ein frei fallender Körper in der 1sten, 2ten, 3ten ... t ten Sekunde die Räume $g = (2 . 1 - 1) g$, $3 g = (2 . 2 - 1) g$, $5 g = (2 . 3 - 1) g$ .... $(2t - 1) g$.

Wie groß ist der Raum, den ein frei fallender Körper in der 4ten, 7ten rc. Sekunde seines Falles zurücklegt? (34,3 m und 63,7 m).

Dieses zweite Gesetz folgt aus dem ersten (§ 67); denn der Fallraum der zweiten Sekunde ist gleich dem Fallraume zweier Sekunden weniger dem der ersten ($4g - g = 3g$); eben so der Fallraum der dritten Sekunde gleich dem Fallraume dreier Sekunden weniger dem zweier Sekunden ($9g - 4g = 5g$) — überhaupt der Fallraum der tten Sekunde gleich dem Fallraume von t Sekunden weniger dem von (t — 1) Sekunden; also $gt^2 - g(t - 1)^2 = gt^2 - gt^2 + 2gt - g = (2t - 1) g$.

69. **Die Endgeschwindigkeiten nehmen zu, wie die Zeiten, oder wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3 u. s. w.,** d. h. die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers ist zu Ende der zweiten Sekunde zwei Mal, zu Ende der dritten Sekunde drei Mal so groß, als zu Ende der ersten Sekunde u. s. w. Nun ist aber die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde gleich dem doppelten Fallraume der ersten Sekunde $= 2 g$, denn der Fallraum der zweiten Sekunde $= 3 g$ ist hervorgebracht durch die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde oder durch das Beharrungsvermögen und durch die neue Wirkung der Schwere in der zweiten Sekunde, welche wie in jeder Sekunde $= g$ ist; es ist also die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde $3 g - g = 2 g$, bei uns $3 . 4{,}9 - 4{,}9 = 9{,}8$ m und hiernach sind also die Endgeschwindigkeiten der ersten, zweiten rc. t ten Sekunde in derselben Ordnung:

allgemein ausgedrückt $2 g, 4 g, 6 g \ldots\ldots t . 2 g = 2 g t$.
bei uns 9,8; 19,6; 29,4 m ..... $t . 9{,}8 = 9{,}8\text{m} . t$.

Die Endgeschwindigkeit der zweiten Sekunde ist 19,6 m, heißt aber: wenn der Körper mit der zu Ende der zweiten Sekunde durch den freien Fall erlangten Geschwindigkeit gleichförmig sich fortbewegen könnte, so würde er in jeder Sekunde 19,6 m zurücklegen u. s. w.

Das Gesetz läßt sich allgemein so darthun:
Der Weg in dem ntten a ist $= ntw$ (§ 67),
— — — — nTten a — $= nTw$.

Würde nun die Einwirkung der Schwere nach nt und nT Zeitteilchen oder nach t und T Sekunden aufhören, so müßten die Körper mit den erlangten Geschwindigkeiten gleichmäßig fortgehen, also in jedem nten Teile der Sekunde im ersten Falle ntw, im zweiten nTw zurücklegen, mithin in einer ganzen Sekunde im ersten Falle $n . ntw = n^2tw$, im zweiten $n . nTw = n^2Tw$. Heißen die Geschwindigkeiten c und C, so wäre hiernach:

$$C : c = n^2Tw : n^2tw, \text{ oder } C : c = T : t,$$

d. h. die Endgeschwindigkeiten verhalten sich zu einander wie die Zeiten.
$T = 1$; also $C = 2g$ gesetzt, giebt

$$2g : c = 1 : t; \text{ also } c = 2gt \text{ und hieraus } t = \frac{c}{2g}.$$

Mit welcher Geschwindigkeit trifft ein frei fallender Körper die Erde, wenn er 5 Sekunden lang gefallen ist? (49 m). Wie lange ist ein Körper gefallen, wenn er mit der Geschwindigkeit von 58,8 m auffällt? (6 Sekunden.)

70. **Wenn ein frei fallender Körper mit der Geschwindigkeit, welche er nach einer bestimmten Zeit erlangt hat, gleichförmig fortgehen könnte, so würde er in einer der Fallzeit gleichen Zeit einen doppelt so großen Raum zurücklegen, als der ganze Fallraum beträgt.**

Der Fallraum von z. B. 4 Sekunden ist $4^2 . 4{,}9\,m = 78{,}4\,m$.

Die Endgeschwindigkeit der 4ten Sekunde ist $4 . 9{,}8\,m = 39{,}2\,m$ und mit der Geschwindigkeit von 39,2m sich gleichförmig bewegend, legt ein Körper in 4 Sekunden $4 . 39{,}2\,m = 156{,}8\,m$ zurück, aber $156{,}8 = 2 . 78{,}4\,m$, oder allgemein: der Fallraum von t Sekunden ist gt^2, die Endgeschwindigkeit der t ten Sekunde $= 2gt$; bewegt sich nun ein Körper gleichförmig mit der Geschwindigkeit 2gt durch t Sekunden, so beträgt der zurückgelegte Raum $2gt^2$, was das Doppelte von gt^2 ist.

Die Hauptformeln sind hier also:

$$1)\ h = gt^2, \text{ woraus folgt } 2)\ t = \sqrt{\frac{h}{g}}$$

$$2)\ c = 2gt \quad — \quad — \quad 4)\ t = \frac{c}{2g}$$

$$(4) \text{ in } (1) \text{ substituiert giebt } 5)\ h = g . \frac{c^2}{4g^2} = \frac{c^2}{4g}$$

$$(2) \text{ in } (3) \quad — \quad — \quad 6)\ c = 2g . \sqrt{\frac{h}{g}} = 2\sqrt{gh}.$$

Diese Formeln zeigen, daß man jede von den drei Größen h, c und t aus jeder der beiden anderen mit Zuziehung des bekannten Fallraumes g der ersten Sekunde bestimmen kann, weshalb auch für jede dieser Größen zwei Ausdrücke da sind.

71. Bei diesen Gesetzen ist der Widerstand der Luft ganz unberücksichtigt gelassen; er hält den fallenden Körper auf, macht also, daß er später zur Erde fällt, als er im luftleeren Raume fallen würde; weshalb die Formel gt^2 die Fallhöhe auch etwas größer angiebt, als sie wirklich ist. Der Widerstand der Luft steht im geraden Verhältnisse des Querschnittes und im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeit des fallenden Körpers; zu Fallversuchen sind daher kleine, möglichst dichte Körper zu nehmen.

Atwood'sche Fallmaschine.

72. Nach dem Newton'schen Gesetze muß die Schwere mit der Entfernung von der Erde abnehmen, so wie sie auch auf der Erde selbst von den beiden Polen nach dem Äquator zu abnimmt; teils nach jenem Gesetze, weil die Körper auf dem Äquator vom Mittelpunkte entfernter sind, als an den Polen; teils in Folge der durch die Achsenbewegung der Erde entstehenden Schwungkraft (§ 78), welche, wiewohl überall der Schwerkraft entgegenwirkend, doch an Stärke vom Äquator nach den Polen zu abnehmen muß, da die Erdpunkte in dieser Richtung in immer kleineren Kreisen schwingen, außerdem dabei aber am Äquator die stets im Schwingungskreise wirkende Schwungkraft der stets längs der Erdradien thätigen Schwerkraft in derselben Linie, also in voller Stärke, nach den Polen zu aber unter immer größeren Winkeln, also immer schwächer, entgegenwirkt (§ 40). Je höher wir uns

also in der Atmosphäre denken, desto kleiner als 4,9 m ist der Fallraum der ersten Sekunde; so wie er an den Polen größer, am Äquator aber kleiner, als 4,9 m sein muß. Bei uns in den mittleren geographischen Breiten ist die Schwere etwa um $^1/_{300}$ größer, als am Äquator.

Nach § 25 wird ein Körper in der Entfernung des Mondes von der Erde $60^2 = 3600$ Mal schwächer angezogen, als die Körper auf ihrer Oberfläche; ein Körper würde also in jener Entfernung nach der Erde zu in der ersten Sekunde nicht 4,9 m, sondern nur $^{4,9}/_{3600}$ fallen, in einer Minute oder sechzig Sekunden also $60^2 \,.\, ^{4,9}/_{3600} = 4,9$ m, d. h. in der Entfernung des Mondes ist der Fallraum eines Körpers in einer ganzen Minute erst so groß, als bei uns in einer Sekunde. Über die Bestimmung des Fallraumes der ersten Sekunde siehe § 99.

---

5. Von der Wurfbewegung.

73. Auf einen geworfenen Körper wirken immer zwei Kräfte: die Wurfkraft, als augenblicklich wirkender Stoß oder als momentane Kraft, und die Schwerkraft als stetig wirkende oder kontinuierliche Kraft. Die Richtungen dieser Kräfte fallen entweder in eine und dieselbe gerade Linie (§ 66), oder sie bilden einen Winkel mit einander. Im ersten Falle können die Kräfte nach derselben oder nach entgegengesetzten Richtungen wirken, wie bei einem senkrecht herabwärts und einem senkrecht hinaufwärts geworfenen Körper. Im zweiten Falle können die Richtungen einen rechten, stumpfen oder spitzen Winkel mit einander bilden, wie bei einem horizontal, schief aufwärts und schief herabwärts geworfenen Körper.

74. Wird ein Körper senkrecht herabwärts geworfen, so findet man die Räume, die er in den bestimmten Zeiten zurücklegt, indem man zu den vermöge der Schwerkraft zurückgelegten Räumen (§§ 67 und 68) noch die, welche er durch die Wurfkraft fällt, addiert; giebt z. B. die Wurfkraft dem Körper eine Geschwindigkeit von 10 m, so fällt er:

in der 1sten Sekunde $1 \,.\, 4,9 + 10 = 14,9$ m
— 2ten — $3 \,.\, 4,9 + 10 = 24,7$ m
— 3ten — $5 \,.\, 4,9 + 10 = 34,5$ m u. s. w.,

überhaupt, wenn G die der Wurfkraft entsprechende Geschwindigkeit ist, in der $t$ten Sekunde $(2t - 1)\,g + G$,

also:

in 2 Sekunden $4 \,.\, 4,9 + 2 \,.\, 10 = 39,6$ m
— 3 — $9 \,.\, 4,9 + 3 \,.\, 10 = 74,1$ m
— t — $gt^2 + Gt = t\,(gt + G)$.

Einen senkrecht aufwärts geworfenen Körper zieht die Schwere in der ersten Sekunde 4,9 m, in der zweiten $3 \,.\, 4,9$ m, in der dritten $5 \,.\, 4,9$ u. s. w., oder in zwei Sekunden $4 \,.\, 4,9$ m, in drei Sekunden $9 \,.\, 4,9$ u. s. w. herunter; ist er nun mit einer Geschwindigkeit von $49\text{ m} = 10 \,.\, 4,9$ m senkrecht aufwärts geworfen, so steigt er nur:

in der 1sten Sekunde $10 \,.\, 4{,}9\,m - 1 \,.\, 4{,}9\,m = 9 \,.\, 4{,}9\,m$
— 2ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 3 \,.\, 4{,}9\,m = 7 \,.\, 4{,}9\,m$
— 3ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 5 \,.\, 4{,}9\,m = 5 \,.\, 4{,}9\,m$
— 4ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 7 \,.\, 4{,}9\,m = 3 \,.\, 4{,}9\,m$
— 5ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 9 \,.\, 4{,}9\,m = 1 \,.\, 4{,}9\,m$

und die entsprechenden Endgeschwindigkeiten sind:

die der 1sten Sekunde $10 \,.\, 4{,}9\,m - 2 \,.\, 4{,}9\,m = 8 \,.\, 4{,}9\,m$
— 2ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 4 \,.\, 4{,}9\,m = 6 \,.\, 4{,}9\,m$
— 3ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 6 \,.\, 4{,}9\,m = 4 \,.\, 4{,}9\,m$
— 4ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 8 \,.\, 4{,}9\,m = 2 \,.\, 4{,}9\,m$
— 5ten — $10 \,.\, 4{,}9\,m - 10 \,.\, 4{,}9\,m = 0$

Zu Anfange der 6ten Sekunde fängt er wieder an herabzufallen, und gelangt in derselben Zeit zur Erde, welche er zum Aufsteigen gebraucht hat; schlägt auch mit derselben Geschwindigkeit auf, mit welcher er die Erde verließ; wie er überhaupt an denselben Punkten des Weges im Hinaufsteigen und Herabfallen dieselbe Geschwindigkeit hat.

Diese Darstellung zeigt ferner, daß die Räume der einzelnen Zeiten abnehmen, wie die ungeraden Zahlen 9, 7, 5, 3, 1, und daß wegen

$$9 + 7 + 5 + 3 + 1 = 25 = 5^2 \qquad 3 + 1 = 4 = 2^2$$
$$7 + 5 + 3 + 1 = 16 = 4^2 \qquad 1 = 1^2$$
$$5 + 3 + 1 = 9 = 3^2$$

auch die Räume der ganzen Zeiten abnehmen, wie die Quadrate der natürlichen Zahlen, wie 25, 16, 9, 4, 1, woraus folgt, daß die Bewegung des senkrecht aufwärts geworfenen Körpers genau das Entgegengesetzte von der Bewegung des frei fallenden ist. Diese ist gleichmäßig beschleunigt, jene dagegen gleichmäßig verzögert.

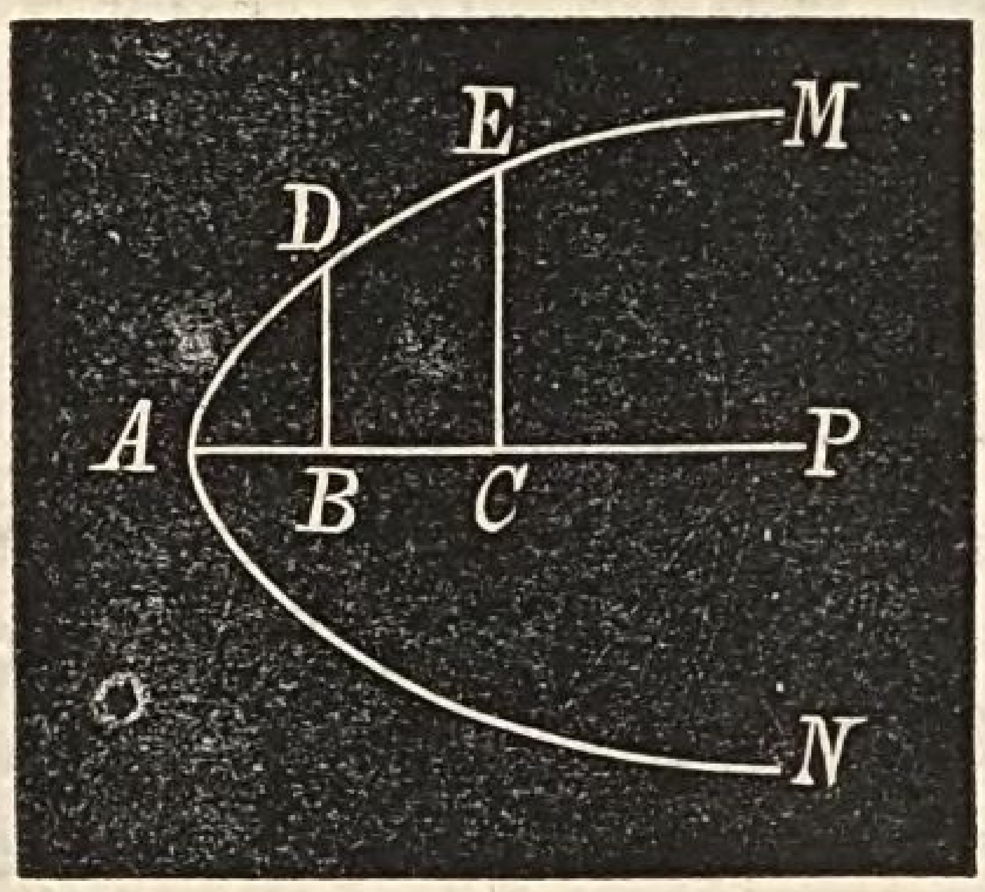
Heißt die Anfangsgeschwindigkeit des senkrecht aufwärts geworfenen Körpers c, so ist:

seine Geschwindigkeit nach t Sekunden $c - 2gt$,
der Raum der t ten Sekunde $c - (2t - 1)\,g$,
der Raum von t Sekunden $ct - gt^2$.

Ist ein senkrecht aufwärts geworfener Körper, z. B. eine senkrecht abgeschossene Kugel, t Sekunden ausgeblieben, so hat sie eine Höhe von $\left(\frac{t}{2}\right)^2 g = \frac{gt^2}{4}$ erreicht; z. B. wenn sie 8 Sekunden ausblieb, eine Höhe von 78,4 m, wenn der Widerstand der Luft ganz unbeachtet bleibt. — Prüfung der Güte des Schießpulvers mit denselben Gewehren und gleicher Ladung. Eine Kugel wird senkrecht aufwärts mit einer Geschwindigkeit von 490 m abgeschossen: wie lange und wie hoch würde sie, von der Gegenwirkung der Luft abgesehen, steigen? c oder $2gt = 490$ oder $9{,}8 \,.\, t = 490$, also $t = 50$ Sekunden; $h = \frac{c^2}{4g} = \frac{490^2}{4 \,.\, 4{,}9} = 12250\,m$, oder auch $h = gt^2 = 4{,}9 \,.\, 50^2 = 12250\,m$ (§ 71). — Ein senkrecht aufwärts geworfener Körper soll eine Höhe von 4,9 m; 19,6 m; 44,1 m u. s. w. erreichen, wie groß muß seine Anfangsgeschwindigkeit sein? Sie muß so groß sein, wie die Endgeschwindigkeit, welche er von derselben Höhe frei fallend erreicht, also in derselben Ordnung 9,8; 19,6; 29,4 m u. s. w.

75. Bilden die Richtungen der Wurf- und Schwerkraft einen Winkel, so wird mittelst der Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte die Bahn des geworfenen Körpers gefunden. Sie ist im luftleeren Raume, wie es Galilei (1602) zuerst bewiesen hat, eine **Parabel**.

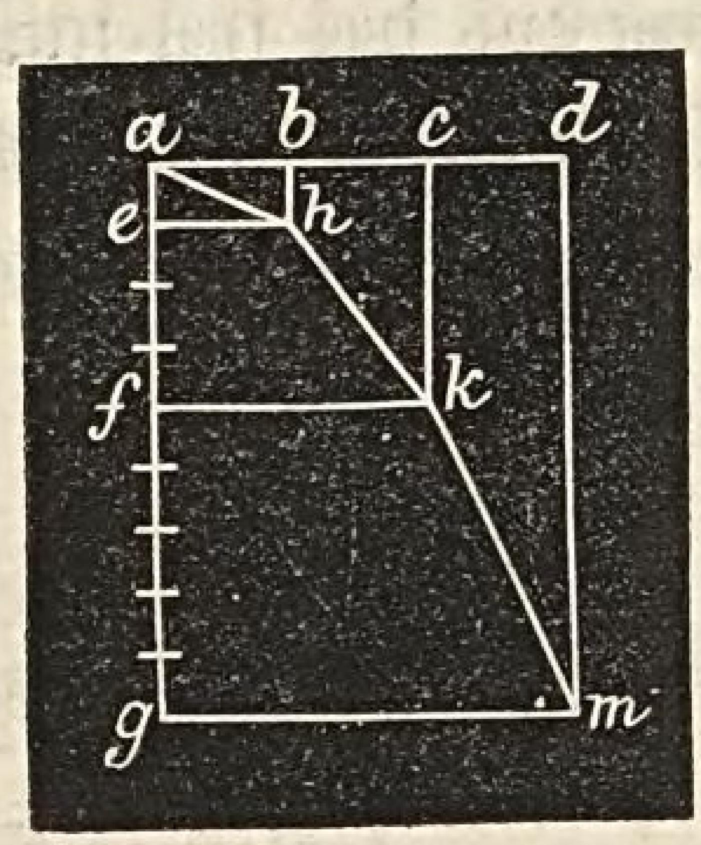
Figur 24.



Die Parabel ist eine krumme Linie, Fig. 24, welche aus zwei ganz gleichen, ins Unendliche fortgehenden Ästen (AM, AN) besteht, welche in Beziehung auf die durch den Scheitel (A) derselben gehende Achse (AP) so liegen, daß sich die Abscissen (AB, AC u. s. w.) zu einander verhalten, wie die Quadrate der zugehörigen Ordinaten (DB, EC u. s. w.). Wenn sich also jene zu einander verhalten, wie 1, 4, 9, 16 u. s. w., so müssen sich diese zu einander verhalten, wie 1, 2, 3, 4 u. s. w.

Wird ein Körper horizontal geworfen, so bilden die Richtungen der beiden thätigen Kräfte einen rechten Winkel. Der Körper würde hier vermöge der Wurfkraft in jeder Sekunde in horizontaler Richtung denselben Raum zurücklegen, vermöge der Schwerkraft aber perpendikulär herunterfallen, so daß sich die Fallräume der einzelnen Sekunden zu einander verhielten, wie 1, 3, 5, 7 u. s. w. Trägt man nun auf einer horizontalen Linie gleiche Teile auf, die Räume, welche der Körper in den einzelnen Sekunden zurücklegen würde, wenn er blos der Wurfkraft folgte, darstellend; auf einer geraden dagegen, die auf jener horizontalen perpendikulär steht, herabwärts Teile in dem Verhältnisse der ungeraden Zahlen, die Räume darstellend, welche der Körper in den einzelnen Sekunden durchfiele, wenn die Schwerkraft allein auf ihn wirkte, so wird die Bahn des geworfenen Körpers durch wiederholte Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte, wie es die Figur 25 zeigt, gefunden. Es ist hier die Bahn des geworfenen Körpers ein Parabelast (a h k m), dessen Scheitel (a) im Wurfpunkte ist, denn:

Figur 25.



$$ae = 1,\ af = 4 \,.\, ae;\ 4 = 2^2,\ ag = 9\,ae;\ 9 = 3^2,$$
$$\text{aber } eh = 1,\ fk = ac = 2\,ab = 2,\ gm = ad = 3\,ab = 3.$$

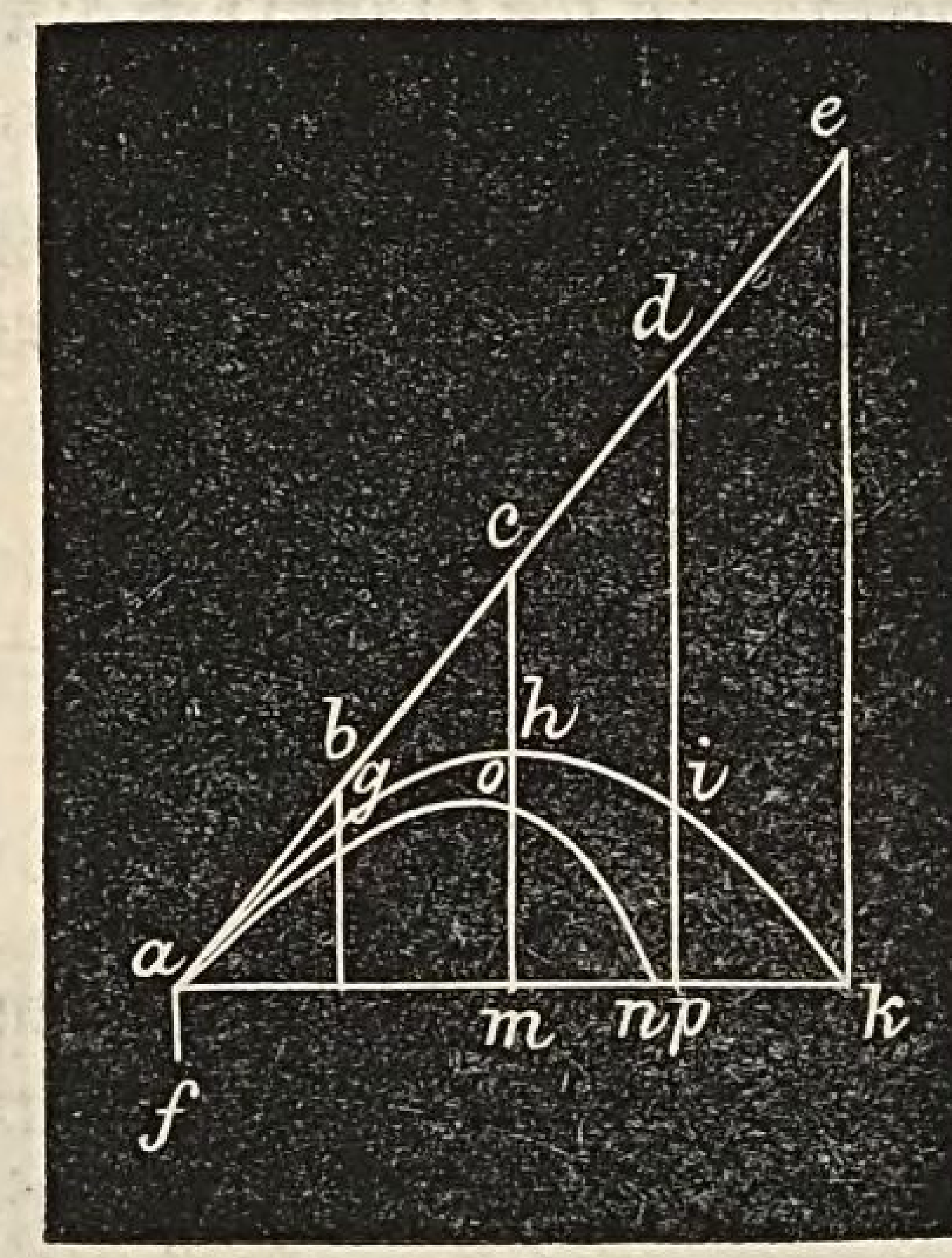
Aus obenstehender Figur ergeben sich auch die Folgerungen:

1) Der horizontal geworfene Körper kommt zwar nach der Seite, wohin ihn die Wurfkraft treibt, so weit, als er gekommen wäre, wenn er ihr allein folgte, befindet sich aber immer um so viel tiefer unter der ursprünglichen Wurflinie, als er in dieser Zeit frei gefallen wäre. 2) Der horizontal geworfene Körper nähert sich zwar so viel der Erde, als es geschehen wäre, wenn er der Schwere allein folgte, ist aber in jedem Augenblicke von der ursprünglichen Fallinie so weit nach der Seite, wohin die Wurfkraft wirkt, entfernt, als diese ihn in derselben

Zeit gebracht hätte. 3) Ein horizontal geworfener Körper fällt in derselben Zeit zur Erde, in welcher er von derselben Höhe frei fallen würde.

Einen solchen Parabelast beschreibt eine Kugel, aus einer genau horizontal liegenden Röhre abgeschossen. — Aber um einen bestimmten Punkt zu treffen, muß der Lauf des Geschützes etwas höher gerichtet werden. — Das Visier oder die Absehe und das Korn bei Gewehren.

Figur 26.



Wird ein Körper schief in die Höhe geworfen, so ist seine Bahn eine ganze Parabel, deren Scheitel zugleich der höchste Punkt ist, welchen jener erreicht, und in deren einem Schenkel sich der Körper erhebt, in dem andern aber herabfällt. In Figur 26 hätte die Bahn, wie in Figur 25, wenn ae die Richtung der Wurfkraft, af die der Schwere ist, gezeichnet werden können; man kann aber auch davon ausgehen, daß, wenn ae die Richtung der Wurfkraft, ak eine durch a horizontal gezogene Linie ist, der geworfene Körper von seiner geradlinigen Bahn, in welcher er in jeder Sekunde denselben Raum $ab = bc = cd = de$, ohne Einwirkung der Schwere, zurücklegen würde, von dieser in der ersten Sekunde um $bg = 4{,}9$ m, in zwei Sekunden um $ch = 4{,}9$ m u. s. w. nach der horizontalen Linie herabgezogen wird.

Ein über ein Haus geworfener Stein beschreibt eine Parabel. — Ein Wurf unter einem Winkel von 45° giebt die größte Wurfweite, was sich so zeigen läßt: Wird in Figur 26 ein Körper in der Richtung ae, welche mit dem Horizonte den Winkel $eak = w$ (Elevationswinkel) bildet, mit der Geschwindigkeit c geworfen, und würde er, ihr allein folgend, in t Sekunden nach d gelangen, so erhält man den Punkt der Parabel, in welchem er sich, durch die Schwere herabgezogen, wirklich nach t Sekunden befindet, wenn man den Perpendikel dp zieht. Es ist dann ip die Ordinate und ap die Abscisse des Parabelpunktes i. Heißt jene y und diese x, so ist, da $ad = c \, . \, t$ und $di = g \, . \, t^2$ (§ 70 . 1),

$$x = ct \cos w \text{ und } y = ct \sin w - g \, . \, t^2,$$

y ist aber $= o$, 1) in a, d. h. am Anfange des Wurfes oder bei $t = o$,
2) in k, d. h. am Ende des Wurfes, oder da, wo in dem Ausdrucke für y das $gt^2 = ct \sin w$ ist, woraus folgt:

$t = \dfrac{c \sin w}{g}$, was die Dauer des Wurfes angiebt, d. h. die Zeit, welche der Körper braucht, in der Parabel von a bis k zu gelangen. Die Wurfweite oder die gerade Linie ak ergiebt sich aus dem Ausdrucke für x, wenn man in derselben statt t die gefundene Dauer des Wurfes setzt; es ist dann

$x = \dfrac{c^2 \sin w \cos w}{g} = \dfrac{c^2 \sin 2w}{2g}$, welcher Ausdruck den größten Wert bei unveränderter Wurfgeschwindigkeit c da erhält, wo $\sin 2w$ am größten ist; das ist aber der Fall bei $2w = 90^0$ oder $w = 45^0$, da $\sin (90^0 + 2\delta) = \sin (90^0 - 2\delta) < 1$, wenn δ die Winkelgröße bezeichnet, um welche der Elevationswinkel größer oder kleiner ist, als 45^0. Mit 283 m Geschwindigkeit unter 45^0 geworfen, erreicht der Körper in h (Fig. 26) eine Höhe von 2043 m und eine

Wurfweite (ak) von 8171 m; aber bei Elevationswinkel = 40° oder 50° eine Wurfweite von 8048 m.

76. Durch den Widerstand der Luft wird die Bahn des geworfenen Körpers abgeändert, sie ist daher nicht eine Parabel, sondern die sogenannte ballistische Kurve. Der zweite Schenkel, in welchem der Körper herabfällt, ist bei einer Parabel genau gleich dem ersten, in welchem der Körper aufsteigt; bei der ballistischen Kurve dagegen ist der zweite Schenkel kürzer und steiler herabgehend, als der erste, etwa wie aon in Figur 26.

Ballistik — Artillerie.

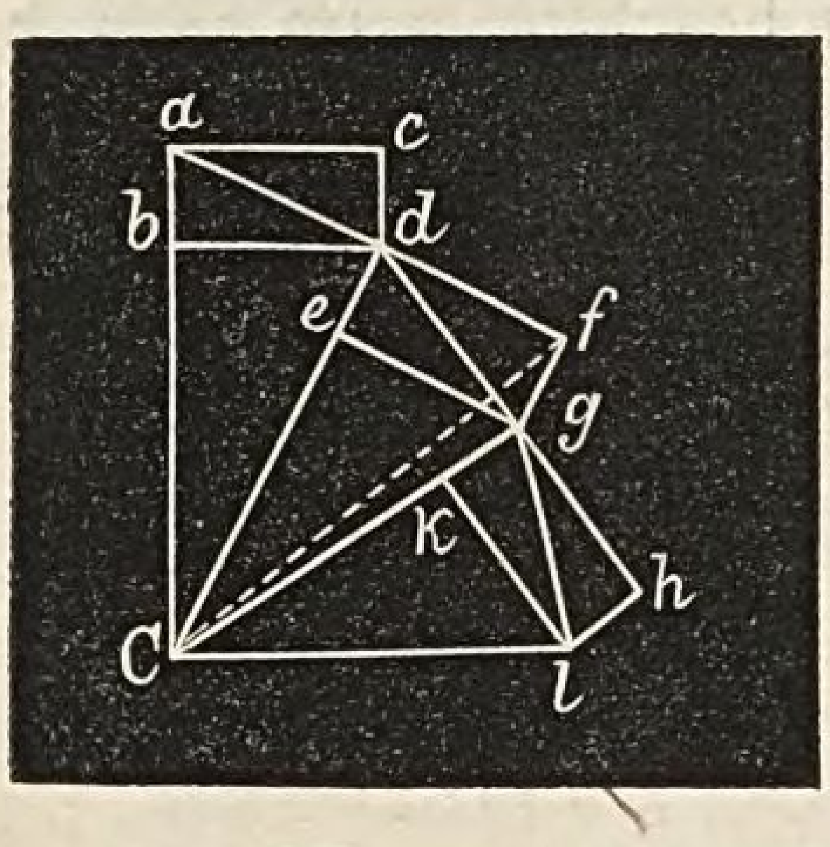
---

6. Von der Centralbewegung.

77. Die Centralbewegung entsteht durch zwei Kräfte, von denen die eine den Körper, wo er auch immer sei, ununterbrochen nach einem bestimmten Punkte hinzieht, die andere ihn aber gleichzeitig von diesem Punkte entfernt, indem sie ihm eine seitwärts gehende Bewegung zu geben sucht. Indem der Körper keiner von beiden ganz folgt, wird seine Bahn eine krumme Linie, die ihre hohle Seite jenem festen Punkte zuwendet. Dieser Punkt heißt das Centrum oder der Mittelpunkt der Bewegung, die Kräfte selbst die Centralkräfte, und zwar die ununterbrochen nach dem Centrum hinziehende die Centripetalkraft, die andere aber die Tangentialkraft, weil sie den Körper an jeder Stelle der krummlinigen Bahn in der Tangente zu bewegen das Bestreben hat.

78. Daß die Bahn eines durch Centralkräfte bewegten Körpers eine krumme Linie um den Mittelpunkt der Kräfte sein muß, läßt sich im allgemeinen aus der Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte erweisen. Treibt in Fig. 27 die Tangentialkraft den Körper im ersten Zeitteilchen, durch ac, und zieht ihn zugleich die Centripetalkraft nach C hin durch ab, so geht er längs ad (§ 38) und erreicht zu Ende des ersten Zeitteilchens d. Von hier hat er nach dem Beharrungsgesetze das Bestreben, im zweiten Zeitteilchen durch df = ad zu gehen, wird aber auch zugleich nach C so gezogen, daß er, ihr allein folgend, den Weg de zurücklegen würde; er geht daher längs dg nach g. Von g geht er im dritten Zeitteilchen längs gl nach l, da er sowohl durch das Beharrungsvermögen, welches ihn längs gh = dg, als auch durch den Zug nach C, welcher ihn durch gk treiben will, in seiner Bewegung bestimmt wird u. s. w. Die Größe der ab, de, gk ändert sich (§ 25) nach der verschiedenen Entfernung von C. Die gebrochene Linie, welche die Bahn des Körpers vorstellt, muß in der Wirklichkeit eine krumme Linie sein, da ja die

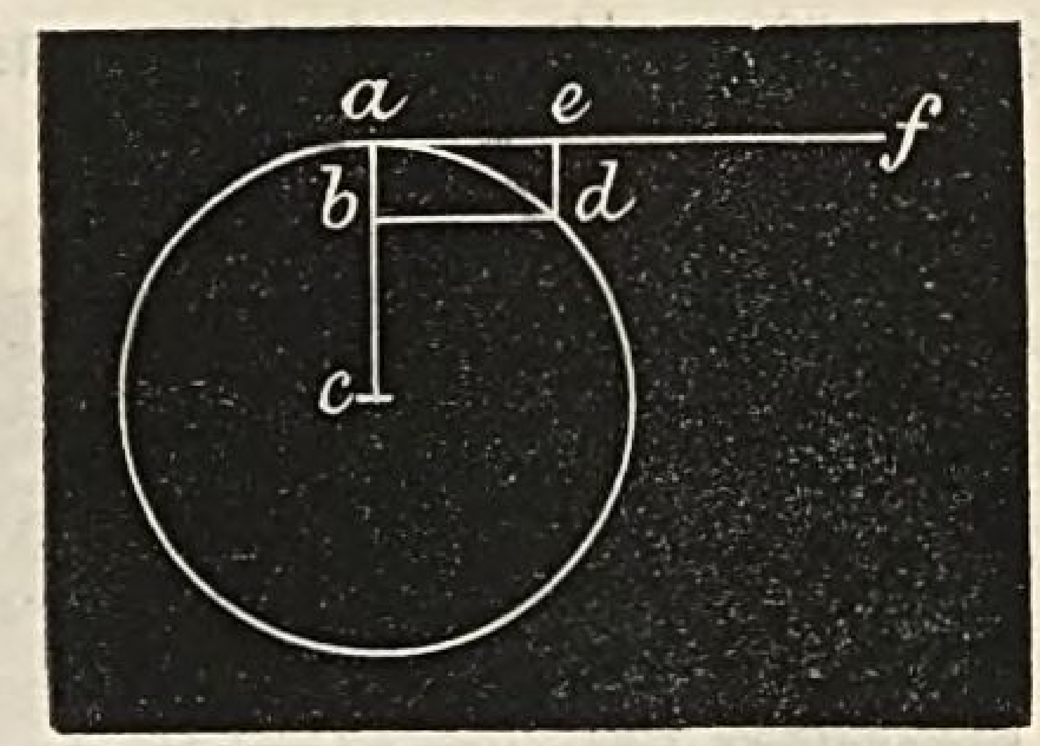
Figur 27.



Wirkungen der Centripetalkraft ununterbrochen, gleichsam in unendlich kleinen Zeitteilchen, stattfinden.

Die Bahnen der durch Centralkräfte bewegten Körper können nach dem Größenverhältnisse dieser Kräfte und dem Winkel, unter welchem sie wirken, verschiedene krumme Linien sein; der Kreis und die Ellipse sind für uns am merkwürdigsten. Beschreibt nun ein Körper durch Centralkräfte eine krumme Bahn, so strebt die Tangentialkraft in Folge des Beharrungsgesetzes nicht nur ihn überall in der Tangente fortzutreiben, sondern ihn auch deshalb vom Mittelpunkte seiner Bahn zu entfernen. Die Kraft, mit welcher das Letztere geschieht, heißt Centrifugalkraft, auch Fliehkraft oder Schwungkraft, welche Benennung also nur die Tangentialkraft selbst in der zweiten Wirkungsart bezeichnet. Sie ist bei der Kreisbewegung der Centripetalkraft gleich und ihr entgegenwirkend, denn durch die gleichzeitige Einwirkung der Tangentialkraft a e und der Centripetalkraft a b auf den Punkt a in Figur 28 legt dieser in einer unendlich kleinen Zeit den unendlich kleinen Bogen a d zurück, welcher als die Diagonale des Parallelogrammes a b d e betrachtet werden kann. Der Tangentialkraft allein folgend, befände sich der Punkt nach Verlauf dieser unendlich kleinen Zeit in e, er würde sich also ohne gleichzeitige Mitwirkung der Centripetalkraft um e d von der Kreislinie als seiner Bahn entfernt haben, — e d giebt daher die Kraft an, welche der Centripetalkraft entgegenwirkt und wegen e d = a b dieser auch gleich ist und sie daher aufhebt — e d stellt mithin die Centrifugalkraft vor. Dreht sich ein Körper um eine Achse, so müssen sich hiernach alle Punkte von ihr in senkrechter Richtung zu entfernen streben, was, wenn der Körper weich ist, eine Änderung der Form — wenn er nur schwach zusammenhängende Teile hat, ein Lostrennen derselben — wenn er ein festes Ganze bildet, eine Wirkung auf die Achse nach allen Seiten zur Folge hat. Die Zugkräfte auf die Achse im letzten Falle heben sich auf, wenn die Masse des Körpers um sie herum gleichmäßig verteilt ist.

Figur 28.

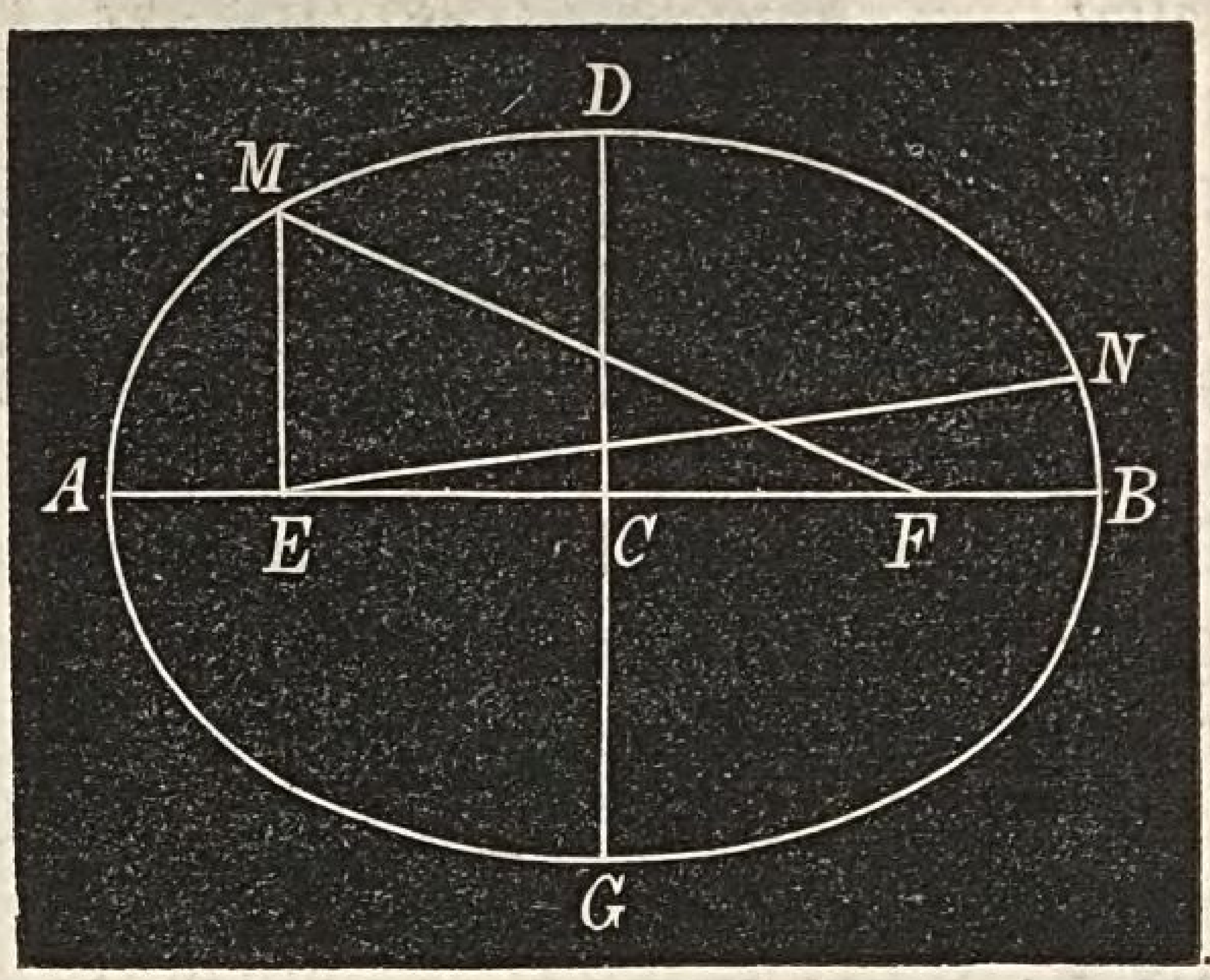


Ein an einem Faden geschwungener Körper giebt das einfachste Beispiel von einer Centralbewegung; die haltenden Finger sind der Mittelpunkt der Bewegung, der Faden selbst die Centripetalkraft, und die Spannung des Fadens wird durch die Centrifugalkraft hervorgebracht; und wenn der Faden reißt oder durchschnitten wird, treibt die Tangentialkraft den Körper in der Richtung der Tangente fort. Ein Kessel mit Wasser, beim Reifen gefaßt und im Kreise geschwungen, eben so ein Reifen mit einem Glase Wasser — die Centrifugal-Rutschbahn — das Spritzen bewegter nasser Räder und Schleifsteine — wenn ein bewegtes Rad oder ein Mühlstein zerbricht, werden die Stücke häufig weit weggeschleudert — die Wirkung der Schleudern — Versinnlichung der Abplattung der Erde durch eine weiche Thonkugel auf der bewegten Töpferscheibe und durch den Apparat aus kreisförmigen Stahlfedern — der Regulator bei den Dampfmaschinen — das Getreide, welches durch die Öffnung des Mühlsteines unter

denselben gelangt, erhält auch die Drehung des Steines, rückt immer weiter zur Peripherie, bis es zur Öffnung des Beutelsackes gelangt — Laufen und Reiten im Kreise erfordern eine Neigung des Körpers nach dem Mittelpunkte, um nicht durch die Centrifugalkraft aus der Bahn geworfen zu werden — Kunstreiter, auf dem in der runden Bahn dahin rennenden Pferde stehend, haben immer eine nach dem Innern der Bahn gerichtete Stellung des Körpers; so wie man sie häufig die der Mitte der Bahn zugewendete Seite des Pferdes mit dem Körper nur gleichsam berühren und doch fortgetragen sieht — eine schnell zugeworfene Thür kann die Angeln herausreißen; so wie Hämmer, Äxte und Säbel nicht selten beim Gebrauche durch die entstandene Schwungkraft sich vom Griffe lostrennen — langsames Fahren beim Umbiegen um eine Ecke — Vermeidung starker Krümmungen bei Anlegung von Eisenbahnen — der Kreisel behält seine Achse in derjenigen Lage, welche sie zu Anfange erhalten hat, wegen der gleichen Verteilung der Masse um die Drehachse — Bohnenberger's Maschine — Centrifugalmaschine oder Schwungmaschine.

79. **Kepler hat bewiesen, daß die Bahnen der Planeten Ellipsen sind.** Vor ihm glaubte man, die Himmelskörper bewegten sich in Kreisen; selbst Kopernikus (1473 bis 1543), der Gründer des nach ihm benannten Kopernikanischen Systems, nahm noch Kreisbahnen an. Es ist hier die allgemeine Schwere oder die Gravitation (§ 25) die Centripetalkraft; die uns unbekannte Tangentialkraft betrachten wir als den Körpern schon bei der Schöpfung mitgeteilt. Die drei berühmten Kepler'schen Gesetze sind:

Figur 28a.



1) **Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet.**

Die Ellipse (Fig. 28a) kann mechanisch so gezeichnet werden: Man nehme einen Faden, mache seine beiden Enden fest, doch so, daß die Entfernung dieser beiden festen Punkte EF kürzer ist, als seine Länge, bringe nun an irgend eine Stelle des Fadens einen Stift, spanne ihn aus, wodurch seine beiden Teile einen Winkel bilden, und führe hierauf den Stift rings herum, wobei aber die Fadenteile immer ausgespannt bleiben müssen. Brennpunkte E und F — große Achse AB — kleine Achse DG — Mittelpunkt der Ellipse C — Sonnennähe oder Perihelium und Sonnenferne oder Aphelium — Mittlere Entfernung — Radienvektoren EM, EN, FM. — Immer sind die beiden Radienvektoren aus den zwei Brennpunkten nach einem beliebigen Punkte der Ellipse zusammen gleich der großen Achse. EM + FM = AB. — Die Erde ist in ihrem Perihelium zur Zeit des Wintersolstitiums; im Aphelium dagegen zur Zeit des Sommersolstitiums; daher sieht nach § 153 die Sonne im Winter etwas größer als im Sommer aus (32′ 35″ — 31′ 30,6″); warum aber trotz der größeren Nähe der Sonne im Winter es kalt, und im Sommer trotz der größeren Entfernung derselben warm ist, giebt § 192 näher an.

2) **Die Radienvektoren der Planeten beschreiben Flächenräume den Zeiten proportional, oder die Radienvektoren beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.**

Der Beweis läßt sich leicht führen, wenn man in Fig. 27 noch Cf zieht:

$\triangle$ Cda = $\triangle$ Cdf, weil ad = df und die Dreiecke ihre Gipfel in C haben, während ad und df eine gerade Linie bilden.

$\triangle$ Cdg = $\triangle$ Cdf, weil Cd = Cd und die Gipfel f und g in der zu Cd parallelen fg liegen,

also $\triangle$ Cda = $\triangle$ Cdg. Um auf dieselbe Art weiter zu zeigen, daß $\triangle$ Cgl = $\triangle$ Cdg, müßte man noch die Ch ziehen u. s. w.

Diese Flächenräume sind immer Ellipsensektoren, d. h. solche Teile der Ellipsenfläche, die von einem Ellipsenbogen und zwei Radienvektoren begrenzt werden. — Die Planeten bewegen sich beim Perihelium am schnellsten, beim Aphelium am langsamsten, weil die zu gleichen Zeiten gehörenden Sektoren am Perihelium und Aphelium Dreiecken vergleichbar sind, von denen jener niedriger als dieser ist, und von denen daher, da sie gleich groß sind, AEM = BEN, auch jener einen größeren Bogen zur Grundlinie als dieser haben muß. Unsere Erde bewegt sich also im Winter schneller, als im Sommer (61′ 10″ im Dezember, 57′ 11,15″ im Juni). Mittlere Geschwindigkeit.

3) **Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich zu einander, wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.**

Folgende Zahlenreihe — das Gesetz von Titius oder Bode genannt —, worin die Einheit zwei Millionen Meilen gilt, giebt die mittleren Entfernungen der bis jetzt bekannten Planeten von der Sonne annähernd an.

	Merkur	4
	Venus	4 + 3 = 7
	Erde	4 + 2 . 3 = 10
	Mars	4 + 4 . 3 = 16
	Ceres, Pallas, Juno, Vesta (1801—1807),	4 + 8 . 3 = 28.
	Jupiter	4 + 16 . 3 = 52
	Saturn	4 + 32 . 3 = 100
(1781)	Uranus	4 + 64 . 3 = 196
(1846)	Neptun	4 + 128 . 3 = 388.

Es wird hiernach die Entfernung des (n + 2) ten Planeten immer durch $4 + 2^n \cdot 3$ oder des n ten durch $4 + 2^{n-2} \cdot 3$ ausgedrückt.

Wie würde man nun hieraus die Umlaufszeit eines jeden Planeten berechnen, mit Zuziehung der bekannten Umlaufszeit der Erde ($365\frac{1}{4}$ Tage)?

Den angegebenen Gesetzen sind nicht nur diese Planeten, welche **Hauptplaneten** heißen, unterworfen, sondern auch die **Nebenplaneten** oder **Monde**, welche die Erde (1), den Jupiter (4), den Saturn (8), den Uranus (4), und den Neptun (1) bei ihrer Bewegung um die Sonne umkreisen; so wie auch die **Kometen**.

Perturbationen.

Kepler (1571—1630) folgerte diese Gesetze aus unzählig vielen Beobachtungen, die vor ihm **Tycho de Brahe** (1546—1601) gemacht hatte, und **Newton** (1642—1722) hat die Übereinstimmung derselben mit dem von ihm aufgestellten Gesetze der Gravitation (§ 25) nachgewiesen. Vorzüglich durch Kepler und Newton hat das Kopernikanische System, die Lehre von der Einrichtung unseres Planetensystems, seine gegenwärtige Gestalt erhalten. Die ausführliche Darstellung desselben gehört in die Astronomie.

7. Von der schiefen Ebene, dem Keile und der Schraube.

80. Jede gegen den Horizont geneigte, oder, was dasselbe ist, jede mit der Richtung der Schwere einen schiefen Winkel bildende Ebene heißt eine schiefe Ebene (planum inclinatum). Den senkrechten Durchschnitt einer schiefen Ebene stellt ein rechtwinkliges Dreieck vor, dessen horizontale Kathete die Grundlinie oder Basis (b), die senkrechte die Höhe (h), die Hypotenuse die Länge (l), so wie der an der Basis liegende spitze Winkel der Neigungswinkel (e) der schiefen Ebene heißt.

81. Wenn von aller Reibung abgesehen wird, so muß ein auf eine schiefe Ebene gelegter Körper herabfallen, da der Schwerpunkt nicht unterstützt ist; er muß aber auch zugleich auf die schiefe Ebene drücken. Die Kraft, mit welcher der Körper frei fallen würde (absolute Kraft oder Schwere (a) — Normaldruck) teilt sich hier gleichsam in zwei Teile, von denen der eine den Körper nur an die schiefe Ebene andrückt (drückende Kraft (d), der andere aber ihn auf derselben herabtreibt (respektive Kraft oder Schwere (r) — relativer Druck); jener Teil wirkt senkrecht auf die schiefe Ebene, dieser dagegen mit ihr parallel.

82. Die Hauptgesetze sind hier folgende:

1) Die respektive Kraft verhält sich zur absoluten, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Länge, d. h. die respektive Kraft ist von der absoluten immer ein so großer Teil, als die Höhe der schiefen Ebene von der Länge derselben; oder:

$$r : a = h : l, \text{ mithin } r = \frac{h}{l} \cdot a, \text{ d. h. — ?}$$

2) Die drückende Kraft verhält sich zur absoluten, wie die Grundlinie der schiefen Ebene zu ihrer Länge; ein wie großer Teil ist also immer die drückende Kraft von der absoluten?

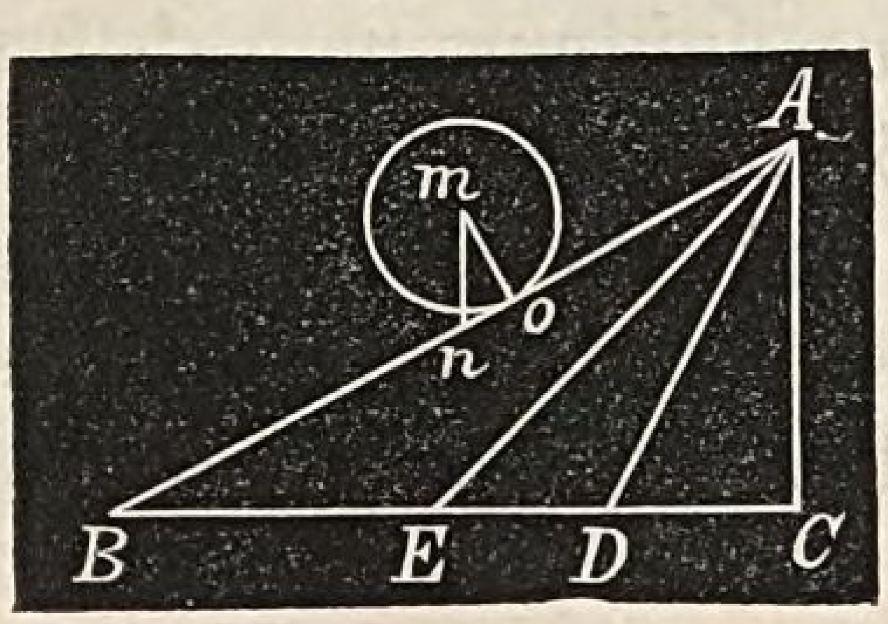
$$d : a = b : l, \text{ also } d = \frac{b}{l} \cdot a.$$

3) Die respektive Kraft verhält sich zur drückenden, wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Grundlinie.

$$r : d = h : b, \text{ also } r = \frac{h}{b} \cdot d \text{ und } d = \frac{b}{h} \cdot r.$$

Die Länge der schiefen Ebene sei = 30 m, ihre Höhe = 18 m, ihre Grundlinie also $\sqrt{(900 - 324)} = \sqrt{576} = 24$ m, ein daraufgelegter Körper wiege 90 kg; mit welcher Kraft rollt er herab, und mit welcher drückt er auf die schiefe Ebene? (r = 54 kg, d = 72 kg, auch ist $54^2 + 72^2 = 90^2$).

Figur 29.



Die Richtigkeit der Gesetze läßt sich so darthun: Ist in Figur 29: m der Schwerpunkt des Körpers auf der schiefen Ebene, stellt mn den Normaldruck oder das Gewicht des Körpers dar (a), so läßt sich (§. 39) mn als eine auf die AB schief wirkende Kraft zerlegen in mo, senkrecht auf sie, und in no, parallel wirkend mit ihr; mo stellt nun die drückende Kraft vor, die durch den Wider-

stand der Ebene aufgehoben wird; die no das relative Gewicht oder die respektive Kraft, die das Fallen des Körpers auf der schiefen Ebene allein bewirkt. Nun ist $\triangle mno \backsim \triangle ABC$, da $mon = C = R$ und $mno = BAC$, da $AC \#\, mn$ ist,

$$\text{also } no : mn = AC : AB,$$
$$r : a = h : l;\ \text{oder auch}\ r : a = \sin e : 1,$$
$$\text{also } r = \frac{h}{l} . a;\ \text{oder}\ r = a \sin e.$$

Ebenso findet man aus $AB : BC = mn : mo = ad : d$

$$d = \frac{b}{l} . a \text{ oder } d = a . \cos e$$

und die dritte Proportion durch Zusammensetzung der beiden ersten, oder auch durch Betrachtung der ähnlichen Dreiecke.

83. Aus dem ersten Gesetze folgt, daß die Bewegung auf der schiefen Ebene, so wie die des freien Falles, eine gleichmäßig beschleunigte ist, nur eine langsamere, und zwar eine desto langsamere, ein je kleinerer Teil die Höhe von der Länge oder je kleiner der Neigungswinkel e ist. Die Schwerkraft nämlich, die Länge und die Höhe irgend einer schiefen Ebene, sind für jeden Punkt dieser schiefen Ebene unveränderliche Größen, es muß daher auch das vierte Glied der Proportion, die respektive Kraft, einen unveränderlichen Wert haben. Die Gesetze des freien Falles finden daher auf den Fall der Körper auf der schiefen Ebene ihre Anwendung; es kommt dabei nur darauf an, für jede schiefe Ebene die Beschleunigung, d. i. den Fallraum der ersten Sekunde, zu finden.

Galilei wurde auf seine berühmten Fallgesetze zunächst durch Versuche an einer schiefen Ebene geführt.

84. **Die Beschleunigung des Falles auf der schiefen Ebene (G) verhält sich zu der des freien Falles (g), wie die Höhe der schiefen Ebene zu der Länge derselben, d. h.** der sovielte Teil die Höhe von der Länge ist, den eben sovielten Teil von g, bei uns von 4,9 m, fällt der Körper auf der schiefen Ebene in der ersten Sekunde, also:

$$G : g = h : l, \text{ mithin } G = \frac{h}{l} . g, \text{ bei uns} = \frac{h}{l} . 4{,}9\,\text{m}.$$

Wie viele Meter rollt daher eine Kugel in der ersten Sekunde auf einer schiefen Ebene herab, deren Länge = 30 m und deren Höhe = 18 m ist? wie viele mithin in der 2ten, 3ten Sekunde u. s. w.? wie viele in 2, 3, 4 Sekunden u. s. w.? 2,94 m; 3 . 2,94 = 8,82 m; 5 . 2,94 = 14,70 m u. s. w. und 1 . 2,94 = 2,94 m; 4 . 2,94 = 11,76 m; 9 . 2,94 = 26,46 m u. s. w.

Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich so folgern: Nach § 35 ist

$$G : g = \frac{r}{m} : \frac{a}{m} \text{ oder } G : g = r : a$$
$$\text{nach (§ 82), } h : l = r : a$$
$$\text{also } G : g = h : l.$$
$$G = g . \frac{h}{l} = g . \sin e,$$

woraus auch folgt, daß, wenn C, H das auf der schiefen Ebene bedeuten, was c, h beim freien Falle:

$$C = 2Gt = 2g . \frac{h}{l} . t = 2gt . \sin e.$$

$$H = Gt^2 = g \cdot \frac{h}{l} \cdot t^2 = gt^2 \cdot \sin e.$$

85. **Ein Körper, welcher längs der ganzen Länge der schiefen Ebene fällt, erlangt dieselbe Geschwindigkeit, die er, die Höhe frei durchfallend, erhalten hätte.**

Ist die Grundlinie BC = 20 m, die Höhe AC = 15 m, so ist die Länge AB = 25 m; die längs der Länge von 25 m herabrollende Kugel würde also die Geschwindigkeit von 17 m erlangen, weil sie durch 15 m freifallend auch dieselbe erhalten wird. Aber sie würde auch bei allen anderen nur denkbaren schiefen Ebenen von der Höhe von 15 m, wie verschieden auch ihre Längen sein mögen, die Endgeschwindigkeit von 17 m erlangen; so daß sie in Figur 29 auf den schiefen Ebenen ACD, ACE, ACB mit derselben Geschwindigkeit in D, E, B ankommen würde.

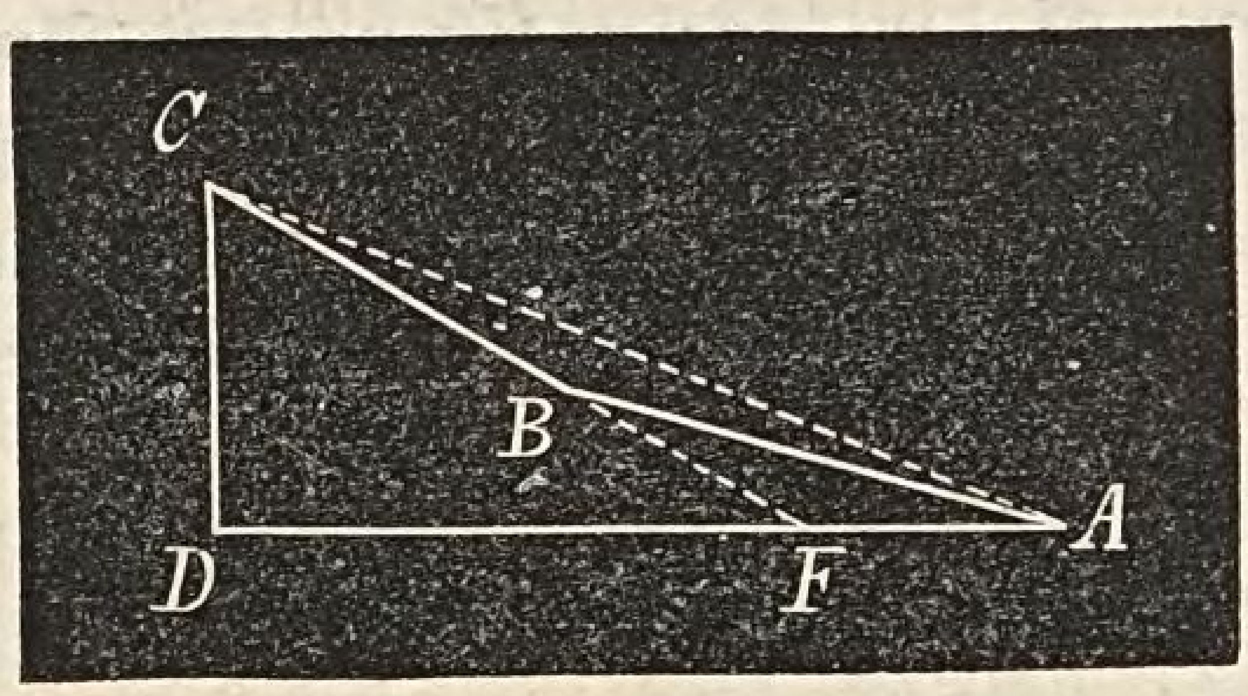
Nach § 70 ist die Geschwindigkeit überhaupt $c = 2\sqrt{gh}$, hier also:

$$C = 2\sqrt{Gl} = \sqrt{g \cdot \frac{h}{l} \cdot l} = 2\sqrt{gh}$$

also c = C.

Es seien in Fig. 30 CB und BA zwei schiefe Ebenen, welche unter dem Winkel CBA zusammenstoßen. Ein Körper, längs CA fallend, würde in A mit derselben Geschwindigkeit ankommen, wie längs CF fallend in F, nämlich mit der Geschwindigkeit in D, frei fallend durch CD. Ebenso, wenn der Körper längs CB und BA herabrollt; denn die Zunahme der Geschwindigkeit auf dem Wege BA ist, wie oben bewiesen, eben so groß, als auf dem Wege BF. Desgleichen auf einem Bogen CBA, welchen man sich aus unendlich vielen, unendlich kleinen geraden Linien zusammengesetzt denken kann. Immer erlangt der von C ausgehende Körper in der horizontalen DA dieselbe Geschwindigkeit — entsprechend der Fallhöhe CD.

Figur 30.



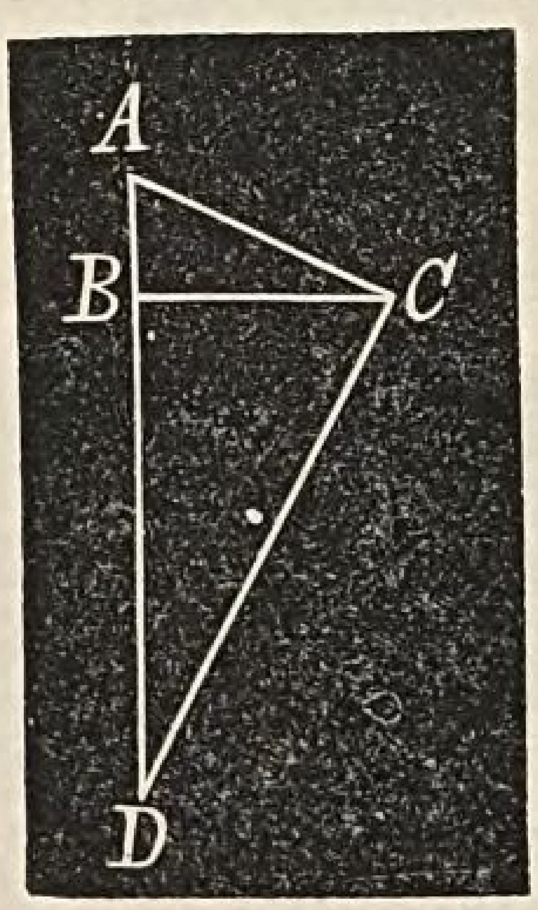
86. **Auch verhält sich der Fallraum eines frei fallenden Körpers zu dem Fallraume auf der schiefen Ebene in derselben Zeit, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe.**

Nach §§ 70 und 84 ist:

$$h = gt^2 \text{ und } H = g \cdot \frac{h}{l}\, t^2,$$

also $h : H = 1 : \frac{h}{l} = l : h$ auch $= 1 : \sin e$.

Fig. 31.



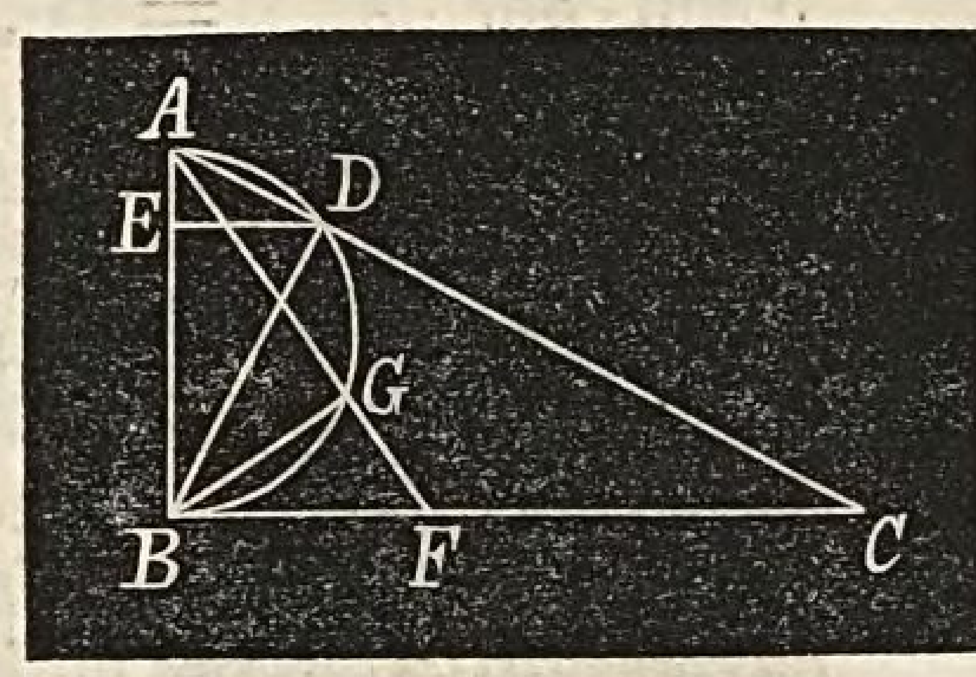
Den Weg, welchen ein Körper frei fallend zurücklegen würde, während er auf der schiefen Ebene die ganze Länge AC in Figur 31 durchfällt, findet man daher, wenn man in C auf AC einen Perpendikel errichtet und ihn verlängert, bis er in D die verlängerte Höhe AB der schiefen Ebene trifft; AD giebt diesen Weg an, weil nach geometrischen Gründen steht:

$$AD : AC = AC : AB = l : h.$$

Will man nun wissen, welchen Teil der Länge ein auf der schiefen

Ebene fallender Körper zurücklegen würde in der Fallzeit durch die Höhe, so hat man nur nötig, über der Höhe A B in Fig. 32 einen Halbkreis zu zeichnen, der durch die Peripherie abgeschnittene Teil A D giebt diesen Weg an; denn zieht man D B und außerdem D E ⧣ B C, so hat man genau den vorigen Fall in Fig. 31. Hätte man nun eine zweite schiefe Ebene A F B mit derselben Höhe A B, so würde der Körper auf dieser schiefen Ebene den Weg A G zurücklegen, während er frei durch A B fiele. Betrachten wir nun mehrere solche schiefe Ebenen, die immer A B zu ihrer Höhe behalten, so ergiebt sich der von Galilei zuerst aufgestellte Satz: daß alle durch einen Endpunkt des senkrechten Durchmessers gehenden und als schiefe Ebenen angenommenen Sehnen in derselben Zeit durchlaufen werden, nämlich alle in der Fallzeit durch den senkrechten Durchmesser. — Ebenso werden alle in B (Fig. 32a) zusammenlaufende Sehnen des Kreises in derselben Zeit durchlaufen: C B, E B, D B, wie der senkrechte Durchmesser A B im freien Falle.

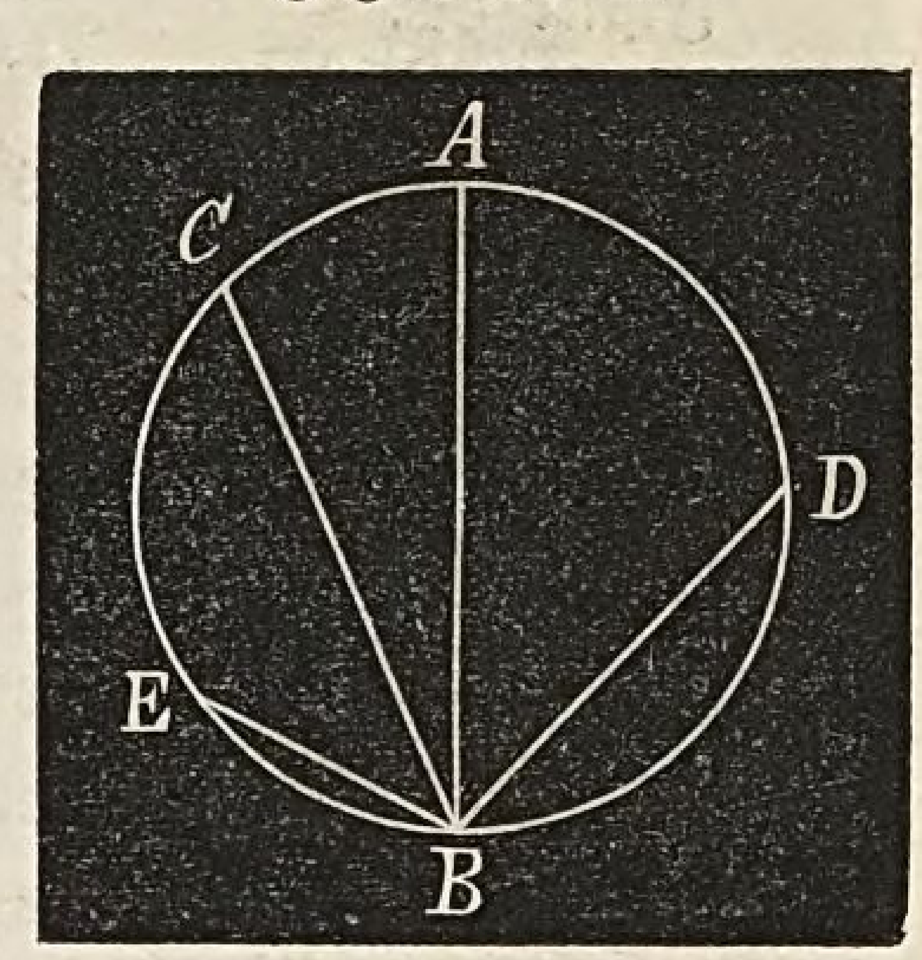
Figur 32.



Welches wäre also bei uns die Fallzeit für alle Sehnen eines Kreises von 4,9 m; 19,6 m; 44,1 m u. s. w. Durchmesser?

87. Die Bewegung eines Körpers aufwärts auf einer schiefen Ebene verhält sich zu seiner Bewegung herabwärts auf derselben, wie die Bewegung eines senkrecht aufwärts geworfenen Körpers (§ 74) zu der des frei fallenden.

Figur 32 a.



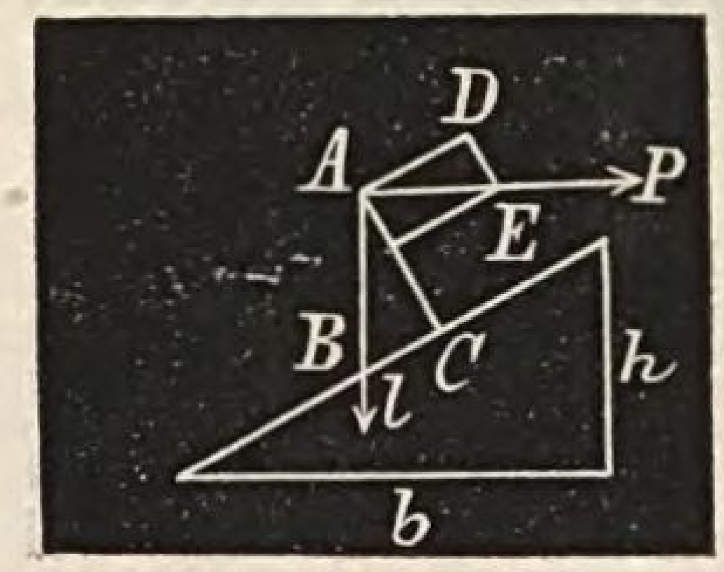
88. Die schiefe Ebene wird gebraucht, Lasten in die Höhe oder von dieser herab zu schaffen, mit Ersparnis von Kraft. Da nämlich nicht die absolute, sondern nur die respektive Kraft den Körper auf der schiefen Ebene herabtreibt, so darf auch nur, um den Körper auf ihr an jeder Stelle ruhend zu erhalten, ihm der sovielte Teil von seinem Gewichte parallel mit der schiefen Ebene entgegenwirken, als der wievielte Teil die Höhe von der Länge der schiefen Ebene ist. Um eine Last auf einer schiefen Ebene herauf zu bewegen, müßte dieses Gewicht etwas vermehrt, wie im entgegengesetzten Falle etwas vermindert werden.

Legt man auf einen Wagen von 1 m Höhe zwei mit einander durch ein Querholz verbundene Stäbe von 4 m Länge, so kann eine Last von 600, 1200, 1800 kg mit 150, 300, 450 kg ins Gleichgewicht gesetzt werden. Eine Last, die nur vier gleich starke Männer zu heben im Stande sind, kann mittelst dieser schiefen Ebene schon einer von ihnen zu der verlangten Höhe bringen. — Schiefe Ebenen sind alle Wege, welche auf Hügel und Berge hinaufführen;

bei Bauten werden häufig schiefe Ebenen angelegt, um Ziegel, Steine, Kalk &c. heraufzuschaffen und hinabzulassen; eben so werden nicht selten Rinnen und Röhren bei Wasserleitungen zum Horizont geneigt angebracht. — Schiefe Ebenen mit Rollen und Gradbogen, um durch Versuche die Fundamentalsätze zu erweisen.

Um den Fall allgemein, ohne Rücksicht auf Reibung, zu betrachten, sei das Gewicht des Körpers $= Q$, dann ist das relative Gewicht $= Q . \sin e$, wenn e den Neigungswinkel der schiefen Ebene bedeutet. Wirkt nun im Schwerpunkt A des Körpers in Figur 33 eine Kraft P entgegengesetzt unter dem Winkel $x = PAC$, so läßt sich P zerlegen in eine auf die Länge der schiefen Ebene senkrecht wirkende, also in AC fallende, welche nur die drückende Kraft vermehrt und in eine parallel mit der Länge längs AD, parallel l wirkende, welche $= P . \sin x$; da Gleichgewicht sein soll, so muß $Q . \sin e = P . \sin x$,

Figur 33.



also $P = Q . \frac{\sin e}{\sin x}$.

Wirkt P parallel mit l, so ist $x = 90$, also $\sin x = 1$,

mithin $P = Q . \sin e = Q . \frac{h}{l}$, also

$P : Q = h : l$, d. h. —?

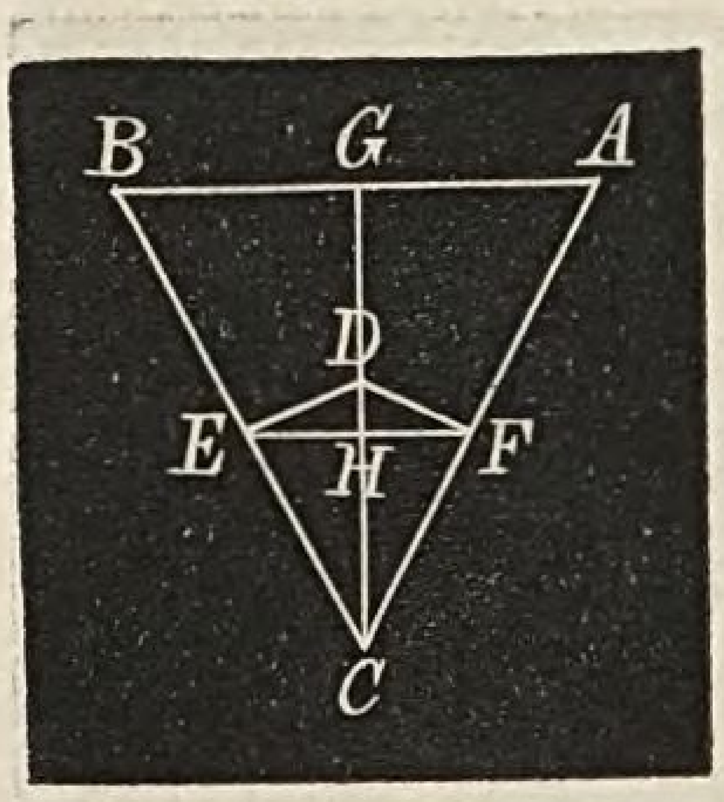
Wirkt P parallel mit b, so ist $x = 90 - e$, also $\sin x = \cos e$,

mithin $P = Q . \frac{\sin e}{\cos e} = Q . \operatorname{tg} . e = Q . \frac{h}{b}$, also

$P : Q = h : b$, d. h. —?

89. Der **Keil**, ein dreiseitiges Prisma, läßt sich ansehen als aus zwei schiefen Ebenen bestehend, deren Grundflächen in einander fallen. Gewöhnlich ist die Grundfläche des Keiles ein gleichschenkliges Dreieck, wie ABC in Fig. 34, dessen Schenkel BC und AC die **Seiten** oder **Seitenlinien** des Keiles, und dessen dritte Seite BA der **Rücken** oder die **Breite**, so wie der Perpendikel CG die **Länge** des **Keiles** heißen. Indem die Spitze C in einen Spalt eines Körpers gebracht und auf AB eine Kraft (z. B. Schläge mit der Axt) nach C hin wirkt, dringt der Keil weiter und spaltet den Körper, dessen Teile durch Kohäsion und Elasticität dem Eindringen des Keiles entgegenwirken, welcher Widerstand hier die Last vorstellt. **Es verhält sich hier**, die sehr bedeutende Reibung ganz unberücksichtigt gelassen, **die Kraft zur Last, wie die Breite zur Seitenlinie des Keiles** $= AB : AC$; der Keil ist daher desto leichter irgend wohin einzutreiben, je weniger breit er ist; aber je leichter er eindringt, desto schmäler ist der Spalt, denn indem er um seine ganze Seite eingepreßt wird, treten die Körperteile erst um die Breite seines Rückens auseinander.

Figur 34.



Der Keil wird außer zum Spalten der Körper auch noch gebraucht, um Körper an einander zu drücken, zum Feststellen, zum Auspressen der Flüssigkeiten, auch zum Heben der Lasten u. s. w. Messer, Beile, Äxte, Meißel, Scheren, Nägel, Nähnadeln, Pfriemen, Schwerter, Lanzen, Degen, Säbel, Bajonnette, Pflüge, Schneidezähne, überhaupt alle Schneidewerkzeuge sind Keile.

Obiges Gesetz läßt sich so erweisen: In G (Fig. 34), senkrecht auf AB, drückt eine Kraft (K) den Keil herab., und auf BC und AC in E und F, in gleichen Entfernungen von C, wirken senkrecht in ED und FD zwei gleiche Kräfte (L und L) dem Eindringen des Keiles entgegen, so daß also dem Drucke K von oben herab entgegenwirkt ein Gegendruck von 2 L von den Seiten her. Die Richtungslinien ED und FD schneiden sich in D, in der Länge des Keiles, denn $EC = CF$, $DEC = DFC = R$ und $ECD = DCF$, folglich $\triangle\ EDC \cong \triangle\ DFC$, also $DC = DC$ und $ED = DF$, welche letzteren daher auch die gleichen Kräfte L und L darstellen können, welche wir jetzt als im Punkte D wirkend annehmen. Jede derselben zerlegen wir (§ 39) in eine auf CD senkrechte Kraft und eine in sie fallende, nämlich DF in HF und DH; ED in EH und DH; EH und HF heben sich als gleiche, aber entgegengesetzt wirkende Kräfte auf, während jede der beiden DH nach oben, genau entgegengesetzt der Kraft K entgegenwirkt; da nun aber $DH = DF . \cos CDF = DF . \sin ACG = L . \sin ACG$, so ist $2DH = 2L . \sin ACG =$ der Kraft, welche der in G senkrecht herabwärts wirkenden Kraft K allein senkrecht aufwärts entgegenwirkt. Das Gleichgewicht erfordert aber $K = 2L . \sin ACG$, woraus folgt:

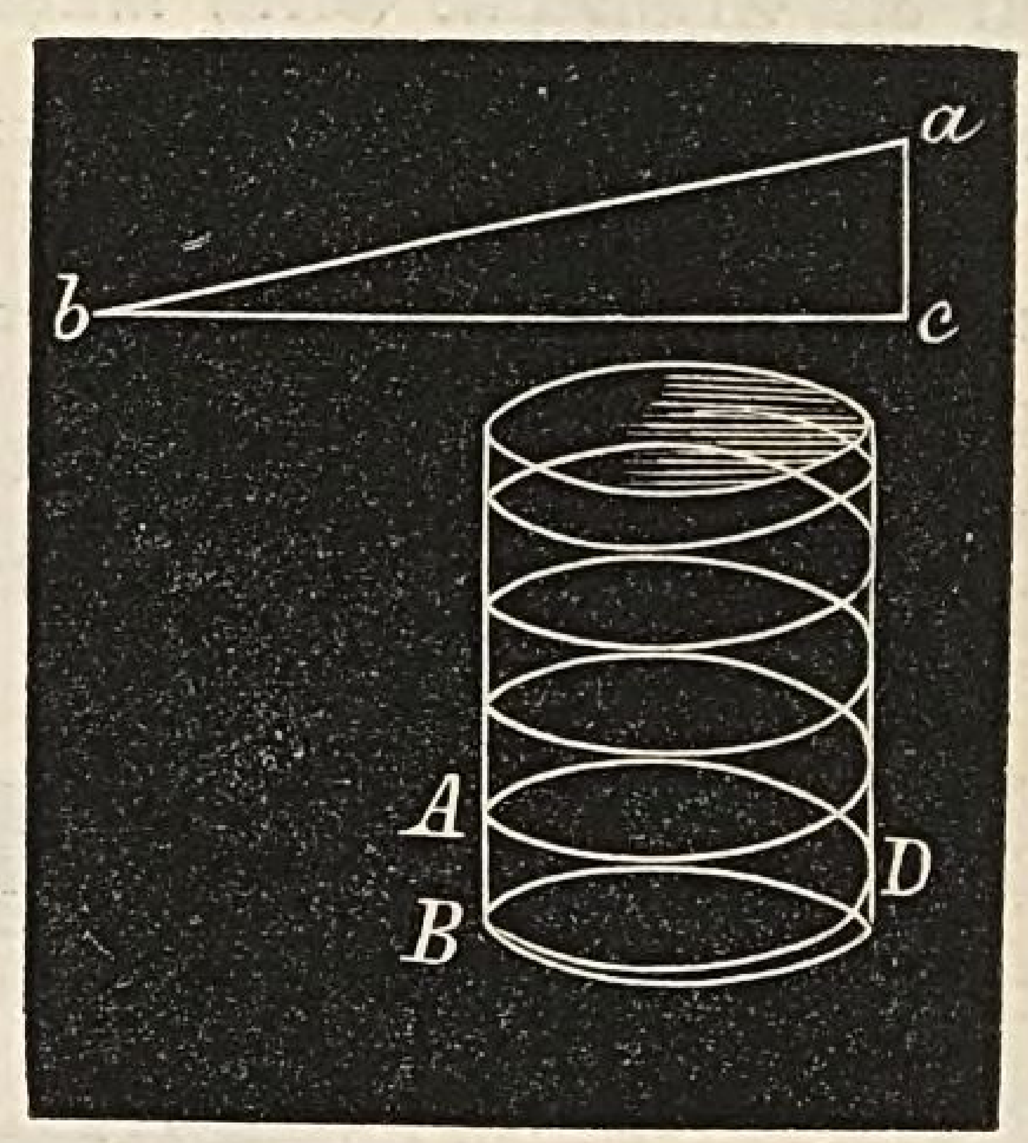
$$K : L = 2 \sin ACG : 1 = 2 . \frac{GA}{AC} : 1 \text{ oder}$$

$$K : L = 2 GA : AC, \text{ d. h. } K : L = AB : AC.$$

Bildet man dagegen aus $K = 2L \sin ACG$
die Proportion $K : 2L = \sin ACG : 1$,
so erhält man $K : 2L = GA : AC$
oder $K : 2L = AB : 2AC$ } d. h. —?

90. Eine Schraubenlinie kann man sich auf einem Cylinder so entstanden denken: Hat man in Figur 35 das rechtwinklige $\triangle$ abc, dessen Grundlinie bc genau der Peripherie des Grundkreises am Cylinder gleich ist, und legt man das Dreieck so um den Cylinder, daß bc die Peripherie des Grundkreises deckt, so zieht sich die Hypotenuse ba schief um den Cylinder herauf, wie BDA, welche krumme Linie ein Schraubengang heißt. Schließt sich nun an diesen Schraubengang ein zweiter ihm ganz gleicher, an diesen ein dritter u. s. w., so entsteht dadurch die Schraubenlinie, unter deren Neigung man den Winkel abc, so wie unter der Höhe eines Schraubenganges die $AB = ac$ versteht. Werden auf der Schraubenlinie Hervorragungen angebracht, so erhält man die Schraubenspindel; werden aber auf der in einer cylindrischen Höhlung eines Körpers verzeichneten Schraubenlinie Vertiefungen angebracht, so erhält man die Schraubenmutter. Jene ist gleichsam eine schiefe Ebene, die um einen Cylinder herauf gewickelt ist; diese eine gleiche schiefe Ebene, welche in einen gleich großen hohlen Cylinder an dessen inneren Wänden gelegt ist. Die Schraubenspindel und die Schraubenmutter bilden die Schraube. Man kann sich denken, daß jeder Punkt in den erhöhten Schraubengängen der Spindel auf den vertieften Schraubengängen der Mutter, wie auf einer schiefen Ebene ruht. Wird die

Figur 35.



Reibung, die gerade bei der Schraube sehr groß ist, nicht berücksichtigt, so verhält sich hier die Kraft zur Last, wie die Höhe eines Schraubenganges zur Peripherie der Spindel $= ac : bc$. Nun läßt man aber die Kraft gewöhnlich an einem Hebelarme, welcher den Radius der Spindel mehrere Male übertrifft, wirken; es wird daher die nach dem eben angegebenen Gesetze zum Gleichgewichte nötige Kraft noch so viele Male verkleinert, als oft der Hebelarm den Radius der Spindel übertrifft, d. h. beim Gebrauche des Hebelarmes verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe eines Schraubenganges zur Peripherie, deren Radius der Hebelarm ist. Die Kraftersparnis ist also bei der Schraube sehr bedeutend, daher bewegt sich aber die Last sehr langsam; da sie bei jeder Umdrehung nur um die Höhe des Schraubenganges fortrückt.

Buchbinderpressen, Buchdruckerpressen, Weinpressen, Ölpressen, Münzpressen, Mikrometer-Schraube — Anwendung der Schraube bei den sogenannten Schraubenschiffen; sie besteht nur aus zwei halben Schraubengängen, liegt in der Mitte des Schiffes vor dem Steuerruder und wird durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt. Der Widerstand des Wassers vertritt die Stelle der Schraubenmutter.

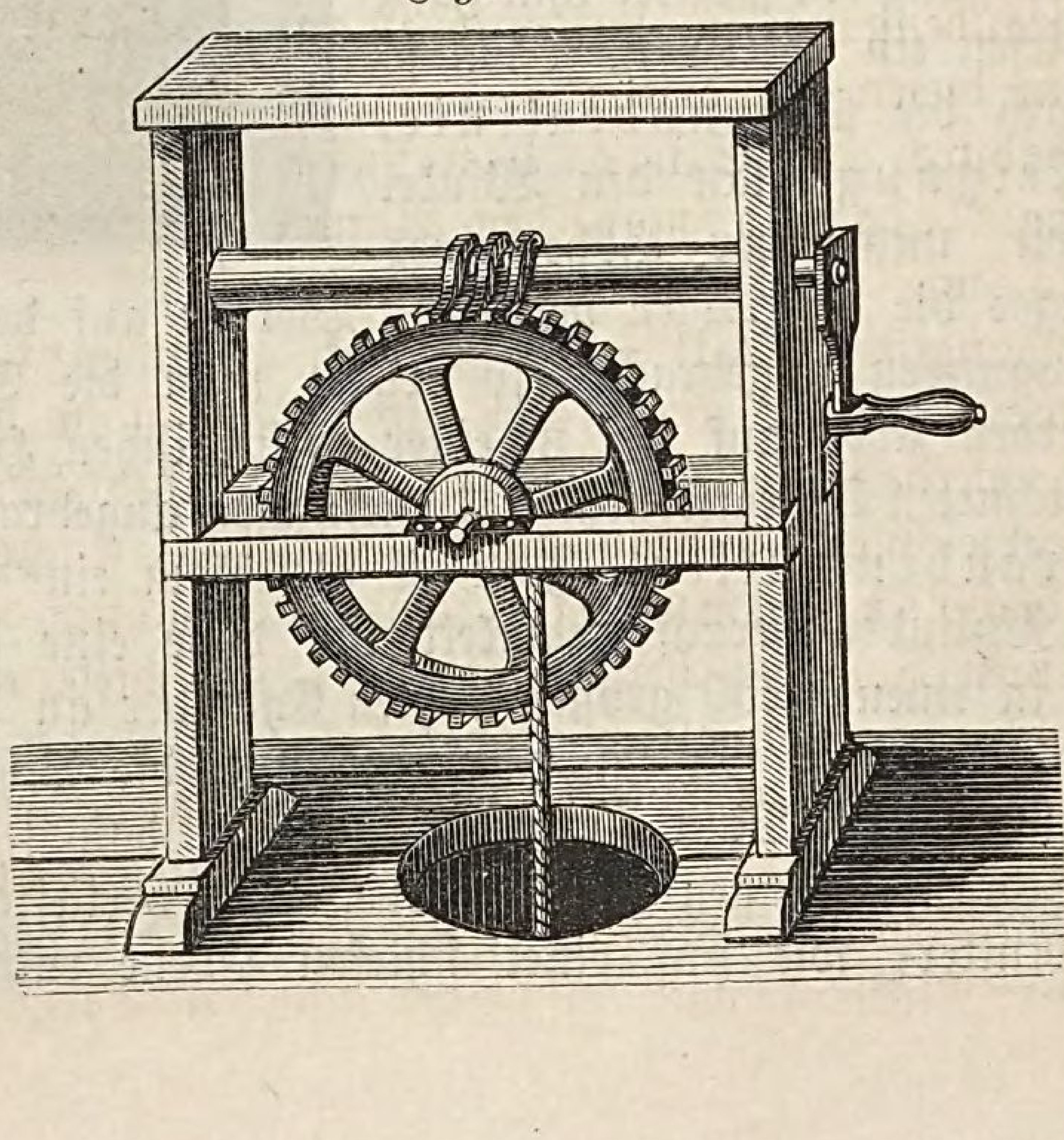
Das Hauptgesetz kann so abgeleitet werden: Es bedeute r den Radius der Spindel, also $2r\pi = bc$ gleich der Grundlinie des erzeugenden Dreiecks, und $h = ac$ bedeute die Höhe des Dreiecks oder die Höhe des Schraubenganges. Die Last L verteilt sich auf alle Schraubengänge gleichförmig, giebt es also deren n, so wirkt auf jeden $\frac{1}{n}$ L; wirkt nun K an der Peripherie der Spindel horizontal, so hat man den Fall, wo die Kraft bei einer schiefen Ebene parallel mit der Grundlinie wirkt, mithin nach § 88

die Kraft $= \frac{1}{n} L . \operatorname{tg} abc = \frac{1}{n} L . \frac{ac}{bc} = \frac{1}{n} L . \frac{h}{2r\pi}$; also die Kraft in allen Schraubengängen $K = L . \frac{h}{2r\pi}$ oder $K . 2r\pi = L . h$,

d. h. $K : L = h : 2r\pi$.

Eine Schraube ohne Ende (s. untenst. Fig. 35a) besteht aus

Figur 35a.



einer Spindel mit einigen Schraubengängen, deren Hervorragungen, wenn sie gedreht wird, ein gezahntes Rad in Bewegung setzen. Sie wird gebraucht, sanfte Bewegungen hervorzubringen, daher auch andere Instrumente genau zu stellen.

Die abgehandelten sechs Instrumente: Hebel, Rolle, Rad an der Welle, schiefe Ebene, Keil und Schraube heißen die sechs einfachen Maschinen, weil sie die Hauptteile aller zusammengesetzten Maschinen sind; und weil die Rolle und das Rad an der Welle sich auf den Hebel, so wie der Keil und die Schraube auf die schiefe Ebene zurückführen lassen, so nennt man den Hebel und die schiefe Ebene noch besonders die Elemente der Maschinen.

---

8. Von dem Pendel.

91. Ein Faden oder eine metallne Stange, an einem Ende fest, an deren anderm Ende eine Bleikugel oder ein merklich schwerer, gewöhnlich linsenförmiger Körper befestigt ist; überhaupt jeder feste Körper, der sich um einen unbeweglichen Punkt frei hin und her bewegen kann, wird ein physisches oder zusammengesetztes Pendel genannt. Ihm entgegengesetzt ist das mathematische oder einfache Pendel, unter dem wir uns eine völlig schwerlose und steife Linie, an dem einen Ende aufgehangen, an dem anderen mit einem einzigen schweren Punkt versehen, denken müssen. An diesem letzteren, nicht darstellbaren Pendel werden die hierher gehörenden Gesetze entwickelt und auf jenes übertragen.

Das einfache Pendel.

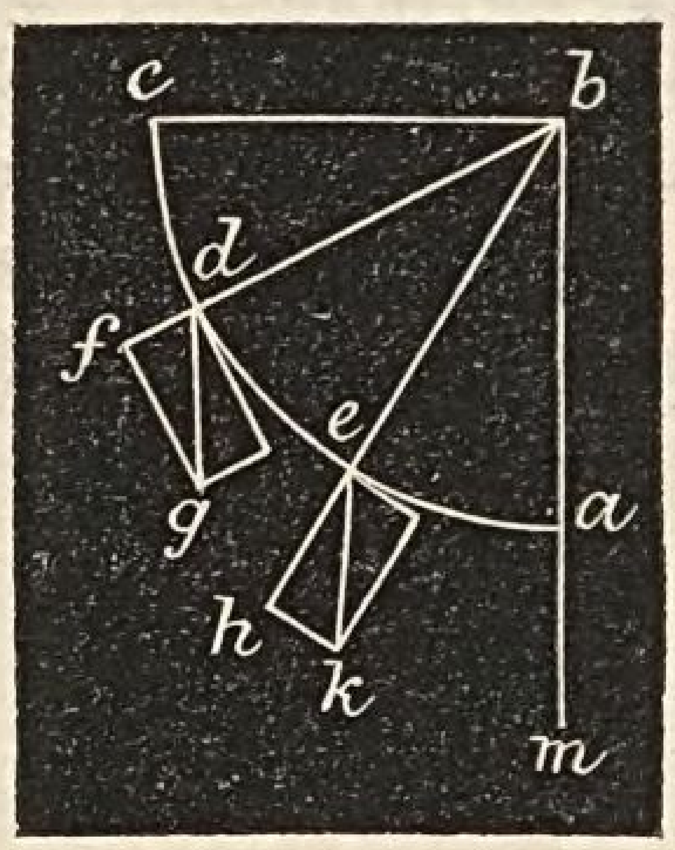
92. Das Pendel kann in Folge des Gesetzes der Schwere nur in der lotrechten Lage ruhen. Aus dieser Lage des Gleichgewichtes in eine andere gebracht und dann freigelassen, bewegt es sich hin und her, indem es sich eben so weit nach der einen, als nach der anderen Seite von der lotrechten Lage entfernt. Die Höhe, von welcher es auf der einen Seite herabfällt, erreicht es auf der anderen Seite steigend wieder. Das Herabfallen auf der einen Seite ist Folge der Schwere, das Hinaufsteigen auf der anderen dagegen Folge der durch das Herabfallen erlangten Geschwindigkeit oder des Beharrungsvermögens, welchem die Schwere entgegenwirkt. Ein Pendel, einmal in Bewegung gesetzt, würde, da die kontinuierlich wirkende Schwerkraft die bewegende Kraft ist, nie aufhören, sich zu bewegen, wenn es ein wahrhaft einfaches sein könnte und sich im luftleeren Raume bewegte. Die Reibung am Aufhängepunkte und der Widerstand der Luft heben die Bewegung nach und nach auf.

93. Die Pendelbewegung ist eine Kreisbewegung. Der Aufhängepunkt ist der Mittelpunkt; der schwere Punkt beschreibt die Peripherie, deren Radius, die gerade Linie vom Aufhängepunkte bis zu dem schweren Punkte, die Länge des Pendels oder die Pendellänge heißt.

Schwingung (Pendelschlag, Oscillation) nennt man die Bewegung längs des ganzen Kreisbogens, in dessen einer Hälfte der schwere Punkt sich herab und in dessen anderer hinauf bewegt; und **Schwingungszeit** ist die auf eine Schwingung verwendete Zeit.

94. Die Pendelbewegung ist in einem Teile der Schwingung beschleunigt, in dem anderen verzögert; denn der schwere Punkt rollt gleichsam in dem einen Teile auf einer Art von schiefer Ebene herab, im zweiten hinauf; sie ist aber dabei **ungleichmäßig** beschleunigt und verzögert, weil der Teil der Schwerkraft, welcher in der einen Hälfte die Beschleunigung und in der anderen die Verzögerung bewirkt, sich an Stärke nicht so, wie bei der schiefen Ebene, gleich bleibt, was im allgemeinen schon dadurch klar wird, daß jede Hälfte des Bogens aus vielen, verschieden geneigten Ebenen bestehend, betrachtet werden kann. — In jedem Punkte des Bogens giebt die Tangente die Richtung der schiefen Ebene an, woraus (§ 84) die Beschleunigung berechnet werden kann.

Figur 36.



Zerlegt man (§ 39) die Schwerkraft (absolute Kraft — α —) des schweren Punktes in Figur 36 in eine längs der Länge des Fadens (bd) (spannende Kraft — sp —) und in eine auf diese senkrecht, also längs der Tangente wirkende Kraft (respektive Kraft — r —), so sieht man, wie jene, wenn cb horizontal und ab perpendikulär ist, von c bis a zunimmt von Null bis zur Größe der absoluten Kraft, diese dagegen abnimmt von der Größe der absoluten Kraft bis zu Null. Die resp. Kraft oder die bewegende Kraft wird also desto kleiner, je näher das Pendel der senkrechten Lage kommt. Der Winkel, welchen die jedesmalige Lage des Pendels mit der senkrechten Lage, d. i. mit der Gleichgewichtslage bildet, heißt der Elevationswinkel (e). Die absolute Kraft verhält sich zur respektiven, wie Eins zum Sinus des Elevationswinkels; dagegen verhält sich die absolute Kraft zur spannenden, wie Eins zum Kosinus dieses Winkels, denn im $\triangle$ dfg steht:

$$\alpha : r = dg : fg = 1 : \frac{fg}{dg} = 1 : \sin fdg = 1 : \sin dba,$$

also $\alpha : r = 1 : \sin e$

und $\alpha : sp = dg : df = 1 : \frac{df}{dg} = 1 : \cos e.$

Für $e = 90^0$ steht $\alpha : r = 1 : 1$, also $r = \alpha$

$\alpha : sp = 1 : o$, also $sp = o$

Für $e = o^0$ ist dagegen $r = o$ und $sp = \alpha$.

95. **Pendel von gleicher Länge schwingen** (wenn sie nur nicht zu verschieden hoch erhoben werden, bei Oscillationen von 3^0 oder 4^0) **gleich schnell**; von zwei Pendeln, die ungleich lang sind, schwingt das kürzere schneller, als das längere; und zwar in der Art, daß es doppelt so viele Schwingungen macht, oder halb so große Schwingungszeiten hat, wenn es vier Mal; drei Mal so viel Schwingungen macht, oder drei Mal kürzere Schwingungszeiten hat, wenn es neun Mal kürzer ist u. s. w., welches so ausgedrückt wird: **die Schwingungszeiten zweier Pendel verhalten sich zu einander,**

wie die Quadratwurzeln der Pendellängen, oder: die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten sich zu einander, wie die Pendellängen, also:

$$T : t = \sqrt{L} : \sqrt{l} \text{ oder } T^2 : t^2 = L : l.$$

Die Schwingungszahlen beider Pendel verhalten sich zu einander umgekehrt wie die Schwingungszeiten derselben, mithin auch die Quadrate jener umgekehrt wie die Quadrate dieser, also:

$$T : t = z : Z \text{ oder } T^2 : t^2 = z^2 : Z^2.$$

Durch Vergleichung dieser Proportionen mit den voranstehenden erhält man:

$$z : Z = \sqrt{L} : \sqrt{l} \text{ oder } z^2 : Z^2 = L : l, \text{ d. h. } = ?$$

Ist ein Pendel 49 cm, ein anderes 81 cm lang, so verhalten sich ihre Schwingungszeiten wie 7 : 9, ihre Schwingungszahlen wie 9 : 7, d. h. wenn jenes 9 Schwingungen macht, macht dieses 7 in derselben Zeit. Pendelmaschine. — Die Cykloide ist eine tautochronische und zugleich brachystochronische Kurve.

Die Richtigkeit des Hauptgesetzes beim Pendel läßt sich etwa so übersehen: Die Proportion $\alpha : r = 1 : \sin e$ zeigt, daß die respektive Kraft nur von dem Elevationswinkel abhängt, also bei kurzen und bei langen Pendeln, wenn sie nur um gleich viel erhoben werden, gleich groß ist, woraus aber noch nicht folgt, daß alle Pendel auch gleich schnell schwingen müssen. Das kann nur dann der Fall sein, wenn sie gleiche Wege zurückzulegen haben, also zu den gleichen Elevationswinkeln auch gleiche Bogen gehören, daher nur bei Pendeln von gleicher Länge; bei einem 4-, 9-, 16- ꝛc. ꝛc. mal längeren Pendel ist aber bei demselben Elevationswinkel auch der Bogen 4-, 9-, 16- ꝛc. ꝛc. mal größer; aber zur Zurücklegung eines 4-, 9-, 16- ꝛc. ꝛc. mal größeren Weges braucht ein von der Schwere bewegter Körper nach § 67 eine 2-, 3-, 4- ꝛc. ꝛc mal so große Zeit, also überhaupt:

$$T : t = \sqrt{L} : \sqrt{l};$$

allgemein $t = \pi \sqrt{\frac{l}{2g}}$; woraus sich g, das Grundmaß für die beschleunigende Kraft der Erdschwere (§ 72) berechnen läßt, wenn l die Länge des Pendels und t seine Schwingungszeit bekannt ist $g = \frac{l\pi^2}{2 . t^2}$

Zusammengesetztes Pendel.

96. Ein zusammengesetztes Pendel stimmt in seinen Schwingungen nicht überein mit einem gleich langen einfachen Pendel; es schwingt nämlich schneller, als dieses, d. h. ein einfaches Pendel, welches so schnell schwingen soll, als ein zusammengesetztes von einer gewissen Länge, muß kürzer sein. Daß es so sein müsse, folgt daraus, daß das zusammengesetzte Pendel als ein Aggregat von schweren Punkten zu betrachten ist, welche vom Aufhängepunkt verschieden weit entfernt sind, mithin verschieden schnell zu schwingen das Bestreben haben. Da sie aber fest mit einander verbunden sind, so bedingen sie sich in ihrer Bewegung wechselseitig. Die dem Aufhängepunkte näheren zwingen die entfernteren, schneller zu schwingen, als ihnen zukommt, werden aber auch zugleich durch diese genötigt, langsamer zu schwingen, als sie es, ihrer Entfernung gemäß, für sich thun würden; hierdurch entsteht eine

gewisse mittlere Geschwindigkeit, wie sie einem gewissen mittleren Punkte des Pendels zugehört. Dieser Punkt eines zusammengesetzten Pendels, bis zu welchem, vom Aufhängepunkte an gerechnet, ein eben so schnell schwingendes einfaches Pendel reicht, heißt der Mittelpunkt der Schwingung oder des Schwunges, auch Schwingungspunkt. Die wahre Länge eines zusammengesetzten Pendels wird auch nur bis dahin gerechnet.

97. Ein Sekundenpendel ist ein physisches Pendel, dessen Schwingungszeit eine Sekunde beträgt. Da die Pendelbewegung, wie der freie Fall und der Fall auf der schiefen Ebene, Folge der Schwere ist, so kann ein Sekundenpendel weder an allen Orten der Erde, noch in allen Entfernungen von der Erde einerlei Länge haben. Je schneller ein Körper fällt, desto länger muß ein Sekundenpendel sein; ein Sekundenpendel in unserer mittleren Breite (in Paris 48° 50′ Breite: 993,87 Millimeter) ist länger als ein Sekundenpendel am Äquator, kürzer aber als ein solches an den Polen. Wirkte auf unser Sekundenpendel eine 4=, 9=, 16=mal so große Schwerkraft, so würde es seine Schwingungen in $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ Sekunde vollenden; denn bei vierfacher Schwerkraft würde der freie Fallraum einer Sekunde $4 . 4{,}9\ m = 19{,}6\ m$, also so viel als bei uns der Fallraum zweier Sekunden, betragen, und dasselbe gilt für die schiefe Ebene und für das Pendel. Unser Pendel würde also bei vierfacher Schwerkraft in einer Sekunde den Raum zurücklegen, den es bei uns in zwei Sekunden zurücklegt, d. i. zwei Schwingungen; es würde mithin auf eine Schwingung eine halbe Sekunde verwenden u. s. w.

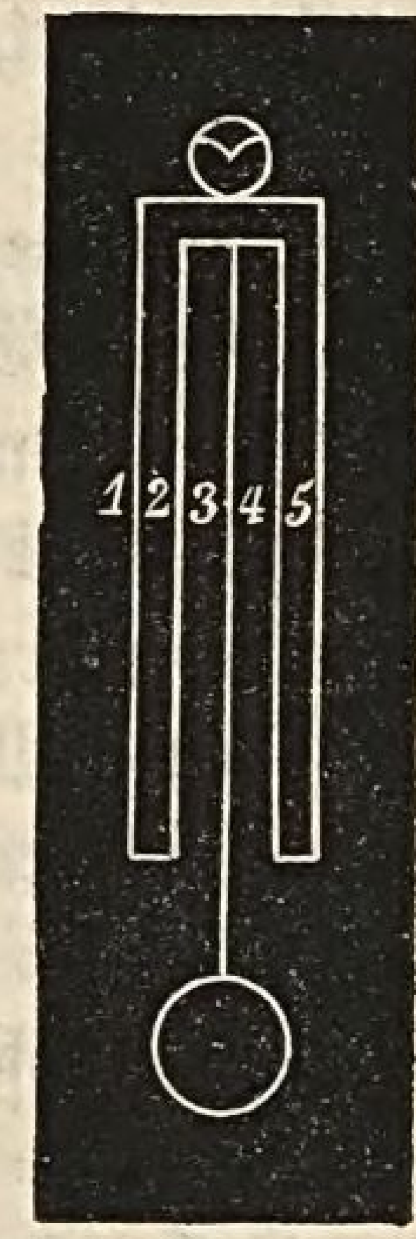
Richer mußte (1672) sein Pariser Sekundenpendel auf der Insel Cayenne, 4° 56′ vom Äquator, um $1^1/_4$ Linien verkürzen, und dieses so verkürzte bei seiner Zurückkunft in Paris wieder um $1^1/_4$ Linien verlängern. — Pendeluhren aus Gebirgen in die Ebene gebracht, ändern ihren Gang. — Heißt die geographische Breite eines Ortes b, so ist die Länge seines Sekundenpendels $= 0{,}99098\ m + 0{,}00515\ m \sin^2 b$.

98. Wie die Reibung am Aufhängepunkte und der Widerstand der Luft einen Stillstand bewirken, so erzeugen Wärme und Kälte, indem sie das Pendel verlängern und verkürzen (§ 186), einen langsameren und schnelleren Gang desselben, weshalb Pendeluhren im Sommer langsamer als im Winter gehen.

Die bewegliche Linse an den Pendeluhren. — Ein Kompensationspendel ist ein aus durch Wärme sich ungleich ausdehnenden Metallen so zusammengesetztes Pendel, daß der Schwingungspunkt seine Entfernung vom Aufhängepunkt nicht ändert, weshalb seine Schwingungszeit unverändert dieselbe bleibt. Das einfachste ist das Pendel mit Quecksilberkompensation. Die Pendelstange trägt am unteren Ende ein cylindrisches Gefäß mit so vielem Quecksilber, daß um so viel der Schwingungspunkt durch die Ausdehnung der Stange erniedrigt wird, um eben so viel derselbe durch die gleichzeitige Ausdehnung des Quecksilbers erhöht wird; weshalb der Quecksilbercylinder solche Dimensionen haben muß, daß seine Erhöhung das Doppelte von der Verlängerung der Stange beträgt. — Die Rostpendel bestehen aus Metallstangen, die sich bei derselben Wärme ungleich stark ausdehnen. Das Messing dehnt sich doppelt so stark aus als der Stahl; werden daher zwei Stahlstäbe mit einem Messingstabe so verbunden, daß der Messingstab als der mittlere, mit dem einen Stahlstabe unten,

und mit dem andern oben durch Querstücke verbunden ist, und befindet sich der Aufhängepunkt am freien Ende des einen Stahlstabes, während der andere eine Kugel oder eine metallene Linse trägt, so wird diese, bei zweckmäßiger Einrichtung des Instrumentes, ihre Entfernung vom Aufhängepunkte nicht ändern. Zink dehnt sich dreimal so stark als Stahl aus, und darauf gründet sich ein anderes Rostpendel aus drei Stahlstäben 1, 3, 5, und zwei Zinkstäben 2 und 4 in Figur 37.

Figur 37.



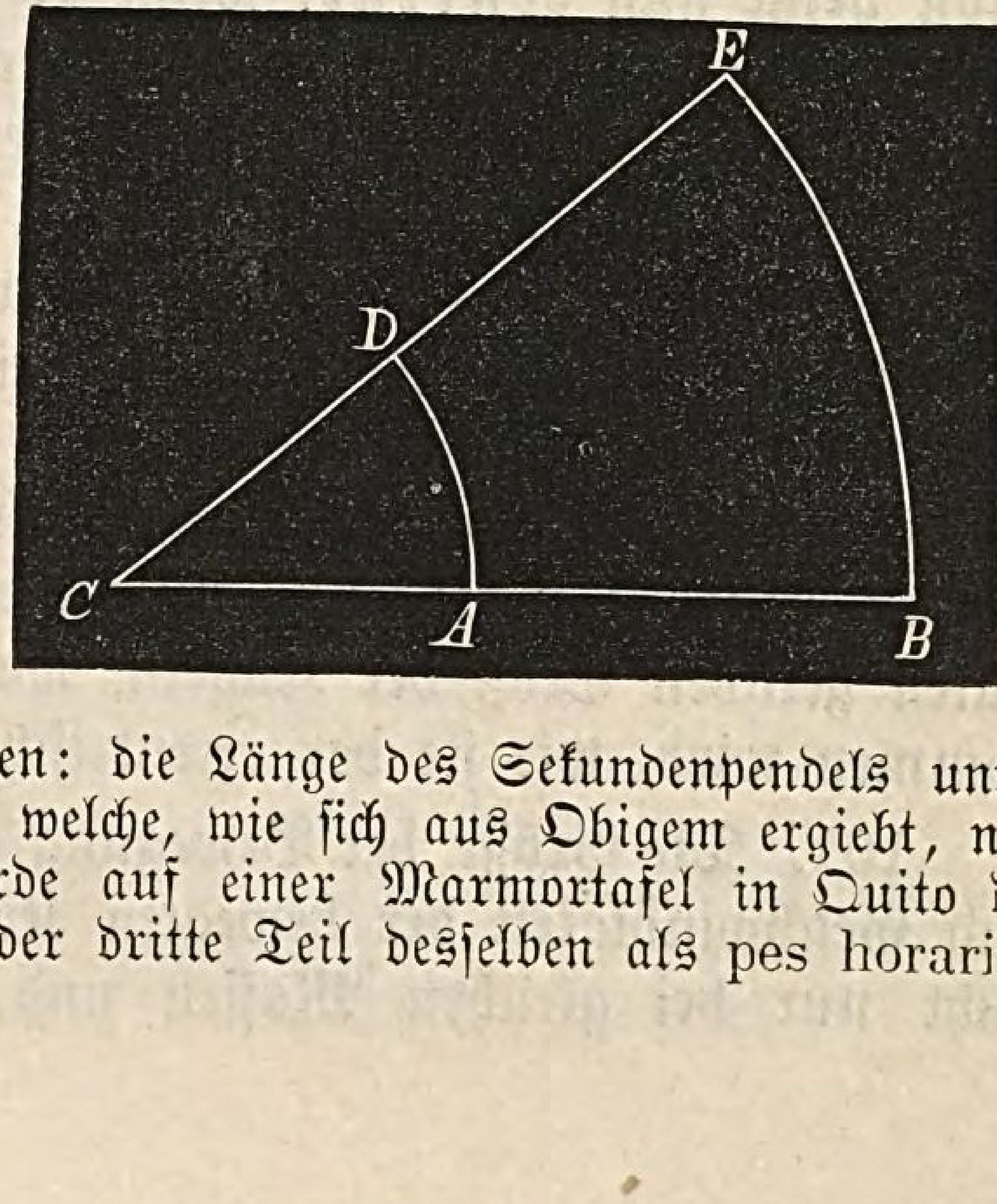
99. Auf das Pendel gründen sich: das **genaue Zeitmaß** durch die Pendeluhren (Huyghens 1658), die **Bestimmung des Fallraumes** einer Sekunde mittelst des Sekundenpendels, und die **Bestimmung der Schwere** an verschiedenen Orten der Erde (97), woraus wir erst ihre Figur kennen lernen; sowie aus der Abweichung des ruhenden Pendels von der vertikalen Richtung in der Nähe steiler, hoher Felsen ihr specifisches Gewicht = 4,7. Nach neueren Untersuchungen von Airy ist das specifische Gewicht des Erdkörpers = 5,7. Aus der unveränderten Lage der Schwingungsebene des Pendels führte Foucault (Paris 1851) den Beweis für die Achsendrehung der Erde.

Der Taktzähler oder Metronom ist ein Pendel, welches sich nicht um seinen Endpunkt, sondern um einen davon entfernten Punkt, der im Stabe selbst liegt, bewegt. Indem der fallende Teil den andern heben muß, entsteht eine Verzögerung in den Schwingungen, die durch Verrückung der Achse oder eines Schiebers nach Belieben vergrößert und verkleinert werden kann. — Ist der Elevationswinkel nicht größer als 15°, so beweiset die höhere Mathematik daß überhaupt:

$$t = \frac{\pi}{\sqrt{2g}} \sqrt{l}, \text{ also für das Sekundenpendel } 1 = \frac{\pi}{\sqrt{2g}} \cdot \sqrt{l},$$

also l oder die Sekundenpendellänge $= \frac{2g}{\pi^2} = 0{,}2026\,g$, und ist die Länge des Sekundenpendels bekannt, so ist $g = \frac{1}{2}\, l\, \pi^2 = 4{,}9358\, l$. Die Länge des Sekundenpendels beträgt am Äquator 0,99098 m, in Königsberg bei einer geogr. Breite von 54° 42′ 50″, nach Bessels Bestimmungen 0,99441 Meter und an den Polen 0,99613 m; der Fallraum der ersten Sekunde ist am Äquator 4,8904 m, in Königsberg 4,9075 m und an den Polen 4,9159 m. Es beträgt also der Unterschied zwischen dem kürzesten und längsten Sekundenpendel nur etwa 5,2 Millimeter, und der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Falle der ersten Sekunde 25,5 Millimeter, also noch nicht einen Zoll. Ehe man übereinkam, als unveränderliche Längen-Einheit le mètre (§ 13) einzuführen, wurde vorgeschlagen: die Länge des Sekundenpendels unter dem Äquator als solche anzunehmen, welche, wie sich aus Obigem ergiebt, nur wenig vom Meter abweicht. Es wurde auf einer Marmortafel in Quito die Länge desselben verzeichnet und sollte der dritte Teil desselben als pes horarius allgemein angenommen werden.

Figur 37a.



Durch das Pendel wird gezeigt, daß alle Körper im luftleeren Raume gleich schnell fallen; weil Pendel bei gleicher reducierter Länge, aus den verschiedensten Materien verfertigt, gleichzeitig schwingen.

99a. Wenn ein Körper um eine feste Achse, um einen festen Punkt gedreht werden soll, so leistet jede Masse, auf welche die bewegende Kraft nicht unmittelbar wirkt, der Bewegung einen Widerstand, dessen Größe sich sowohl nach dem Gewichte der Masse (M), als auch nach ihrer Entfernung (R) vom Drehpunkte richtet. Das Produkt aus der Masse mit dem Quadrat dieser Entfernung (MR^2) nennt man das Trägheits-Moment der Masse. Dasselbe ist für die Maschinenlehre von großer Wichtigkeit. — Denkt man sich an der Stange CB (Fig. 37a). eine Masse M erst in A, dann in B angebracht, so müssen die das Gleichgewicht bewirkenden Kräfte, K und Q, sich verhalten $K : Q = CB : CA = R : r$. Soll aber die Masse in A in derselben Zeit einen eben so großen Raum als in B durchlaufen, so müssen, da die Bogen $AD : BE = AC : BC = r : R$, die Kräfte, welche auch diese Geschwindigkeit bewirken sollen, $P : K = R : r$ und beides zusammengesetzt $P : Q = R^2 : r^2$. Sind aber die Massen verschieden (M und m), so müssen die Kräfte auch diesen proportional sein; $P : Q = R^2M : r^2m$.

---

9. Von dem Stoße.

100. Das Zusammentreffen zweier Körper, von denen sich wenigstens einer bewegt, heißt Stoß. Wir betrachten hier, wenn auch die Erfahrung damit nicht ganz übereinstimmt, vollkommen unelastische und vollkommen elastische Körper, (§ 18), d. h. solche Körper, welche durch den Stoß ihre Gestalt gar nicht ändern, und solche, die sie zwar ändern, aber nach dem Stoße von selbst wieder vollkommen herstellen. Unter der Richtung der Bewegung versteht man hier die gerade Linie, in welcher sich der Schwerpunkt des Körpers bewegt. Der Stoß heißt nun central, wenn die Richtung oder die Richtungen der Bewegung (je nachdem sich nur einer oder beide Körper bewegen) durch die Schwerpunkte beider Körper gehen, und gerade, wenn die Richtungen der Bewegung auf der Ebene, in denen sich die Körper berühren, senkrecht stehen. Den Gegensatz hiervon bildet der excentrische und der schiefe Stoß. Bei Kugeln gleichmäßiger Dichtigkeit ist der centrale Stoß auch immer ein gerader, wobei die Richtung der Bewegung der Mittelpunkte auf der Tangentialebene des Berührungspunktes der Kugeln senkrecht steht. Wir betrachten hier vorzugsweise nur den centralen geraden Stoß der Kugeln, wo keine rotierende Bewegung angenommen wird, wie sie der excentrische Stoß immer hervorbringt.

101. Die Größe der Bewegung hängt (nach § 34) von der Masse und Geschwindigkeit der bewegten Körper ab, und zwei Körper haben nicht nur bei gleichen Massen und gleichen Geschwindigkeiten gleiche

Größen der Bewegung, sondern auch dann, wenn sich ihre Massen umgekehrt wie die Geschwindigkeiten zu einander verhalten. Hierauf gründen sich die Untersuchungen über den Stoß unelastischer Kugeln.

1) Bewegen sich zwei unelastische Kugeln von gleicher Masse gegen einander mit gleicher Geschwindigkeit, so kommen sie beide nach dem Stoße in Ruhe; dasselbe findet statt, wenn sie ungleiche Massen haben, die sich aber zu einander umgekehrt wie ihre Geschwindigkeiten verhalten.

Zwei unelastische Kugeln derselben Materie, jede von 10 kg Gewicht und 3 m Geschwindigkeit, kommen nach dem Stoße ebenso in Stillstand, wie wenn die eine 10 kg Gewicht und 3 m Geschwindigkeit, die andere aber 5 kg Gewicht und 6 m Geschwindigkeit hätte.

2) Bewegen sich zwei unelastische Kugeln von gleicher Masse, aber mit ungleicher Geschwindigkeit gegen einander, so bewegen sie sich nach dem Stoße beide vereint weiter mit gleicher Geschwindigkeit, und zwar mit der Hälfte des Überflusses der größeren Geschwindigkeit über die kleinere, in der Richtung der vor dem Stoße sich schneller bewegenden Kugel; auch wenn die Kugeln ungleiche Massen, dabei aber auch ungleiche Quantitäten der Bewegung haben, findet eine Bewegung beider in der Richtung der Kugel mit der größeren Quantität der Bewegung statt.

Haben hier die beiden Kugeln von 10 kg Gewicht 8 m und 4 m Geschwindigkeit, so gehen sie nach dem Stoße in der Richtung der ersteren mit $\frac{8-4}{2} = 2$ m weiter; hat aber die eine bei 10 kg Gewicht 5 m Geschw., die andere bei 5 kg Gew. 7 m Geschw., ist also die Quantität der Bewegung von jener 50 und von dieser 35, so ist nach dem Stoß $50 - 35 = 15$, die Quantität der vereinigten 10 und 5 kg, wodurch $Q = MC$ übergeht in $15 = 15\,C$, also $C = 1$, d. h. die beiden Kugeln gehen mit der Geschwindigkeit von 1 m in der Richtung der Kugel mit der größeren Quantität (50) weiter.

3) Bewegt sich eine unelastische Kugel hinter einer andern unelastischen, sich aber langsamer bewegenden Kugel von gleicher Masse, so teilt sie dieser beim Zusammentreffen so lange von ihrer größeren Geschwindigkeit mit, bis sie beide gleich viel haben; bis also beide mit der halben Summe ihrer Geschwindigkeit in der gemeinschaftlichen Richtung fortgehen; auch bei ungleichen Massen gehen die Kugeln nach dem Stoße vereint in der gemeinschaftlichen Richtung mit gleicher Geschwindigkeit weiter, die aber anders bestimmt wird.

Folgt auf eine Kugel von 8 m Geschwindigkeit eine zweite eben so große derselben Materie von 12 m Geschw., so gehen sie nach dem Stoße mit $\frac{8+12}{2} = 10$ m weiter; denn indem die eine Kugel 1 m Geschw. verliert, kann dadurch die eben so schwere andere auch nur 1 m Geschw. gewinnen. Folgt aber auf eine Kugel von 4 kg Gew. und 8 m Geschw. eine zweite von 6 kg Gew. und 13 m Geschw., so wird die letztere auf die erstere beim Zusammentreffen so lange stoßend fortwirken, bis sie gleiche Geschwindigkeiten erhalten; verliert aber die letztere 1 m Geschw., so muß dadurch die erstere $1^1/_2$ m gewinnen, denn eine Kraft, welche 6 Kilogrammen 1 m Geschw. giebt, muß 4 Kilogrammen ($= {}^2/_3 . 6$) eine Geschw. von ${}^3/_2 . 1 = {}^3/_2$ m geben ($C : c = m : M$, da $V = v$ ist); kommt also hier die nachfolgende Kugel auf 12 m Geschw. herunter, so kommt die vorangehende auf $9^1/_2$ herauf; kommt endlich jene auf 11 m, so kommt auch diese

auf 11m — mithin haben 2m Geschw. Verlust 3m Geschw. Gewinn und dadurch gleiche Geschwindigkeiten hervorgebracht $\frac{4.8 + 6.13}{4 + 6} = \frac{110}{10}$. Folgt dagegen auf eine Kugel von 6kg Gew. und 4m Geschw. eine zweite von 2kg. Gew. und 16m Geschw., so bringen 3m Geschw. Verlust erst 1m Geschw. Gewinn hervor, wodurch die Geschwindigkeiten auf 13 und 5, dann auf 10 und 6, und endlich auf 7 und 7 zu stehen kommen $\frac{6.4 + 2.16}{6 + 2} = \frac{56}{8}$.

4) **Stößt eine bewegte unelastische Kugel auf eine ruhende unelastische von gleicher Masse, so bewegen sich beide nach dem Stoße weiter mit der halben Geschwindigkeit und in der Richtung der stoßenden, auch bei ungleichen Massen findet eine Bewegung beider in der Richtung der stoßenden mit gleicher Geschwindigkeit statt.**

Stößt auf eine ruhende Kugel eine zweite gleich große Kugel mit 8m Geschw., so gehen sie beide nach dem Stoße mit 4m Gesch. weiter, da 1m Geschw. Verlust bei der stoßenden auch nur 1m Geschw. Gewinn bei der eben so schweren gestoßenen hervorbringen kann. Hat aber die ruhende Kugel 8kg Gew., die stoßende 4kg Gew. und 12kg Geschw., so können erst 2m Geschw. Verlust der stoßenden in der doppelt so schweren ruhenden Kugel 1m Geschw. Gewinn hervorbringen — woraus folgt, daß sie endlich mit 4m Geschw. in der Richtung der stoßenden fortgehen werden.

Eine allgemeine Formel für alle diese Fälle läßt sich so entwickeln: Bedeuten M, m die Massen, C, c die Geschwindigkeiten; also MC und mc die Quantitäten der Bewegung zweier Körper, so erfolgt, wenn sie sich gegen einander bewegen, Ruhe oder Bewegung, je nachdem MC und mc gleich oder ungleich sind. Ist im letzteren Falle $MC > mc$, so vernichtet zuerst beim Zusammentreffen mc in MC so viel, als es selbst beträgt, und die Masse M behält noch als Größe der Bewegung $MC - mc$, mit welcher sie auf die vor ihr liegende Masse m wirkt und sie fortschiebt, wodurch ihre Geschwindigkeit kleiner wird; heißt nun die Geschwindigkeit der Gesammtmasse $M + m$ nach dem Stoße etwa x, also ihre Quantität der Bewegung $(M + m)\,x$, so ist $x\,(M + m) = MC - mc$, also:

$$x = \frac{MC - mc}{M + m}$$

Folgen die Körper auf einander, der nachfolgende schneller, als der vorangehende, so geht von den Quantitäten der Bewegung nichts verloren, da der eine nur verliert, damit der andere gewinnt, und es ist dann $x = \frac{MC + mc}{M + m}$, also überhaupt $x = \frac{MC \mp mc}{M + m}$. Im ersten Falle steht für die Bewegungsmomente nach dem Stoße:

$$Mx = \frac{M(MC - mc)}{M + m} \text{ und } mx = \frac{m(CM - mc)}{M + m}$$

mithin die Verluste der Kräfte der Körper:

$$MC - \frac{M(MC + mc)}{M + m} = \frac{Mm(C + c)}{M + m} \text{ und}$$

$$mc + \frac{m(MC - mc)}{M + m} = \frac{mM(c + C)}{M + m},$$ d. h. beide Körper erleiden gleiche Verluste an der bewegenden Kraft. Der zweite verliert nicht nur mc, sondern erleidet auch noch dadurch einen Verlust, daß er durch den Stoß eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung annehmen muß.

Die Anwendung auf die abgehandelten Fälle giebt Folgendes:

Aus $x = \frac{MC - mc}{M + m}$

1) Sowohl für $M = m$ und $C = c$, als auch $C : c = m : M$ ist $mc = MC$; also $x = o$.

2) Wegen $M = m$ ist $x = \frac{C - c}{2} = \frac{8 - 4}{2} = 2$.

Aus $x = \frac{MC + mc}{M + m}$.

3) Wegen $M = m$ ist $x = \frac{C + c}{2} = \frac{8 + 12}{2} = 10$

und für die beiden andern Beispiele:

$x = \frac{4 . 8 + 6 . 13}{4 + 6} = \frac{110}{10} = 11$

$x = \frac{6 . 4 + 2 . 16}{6 + 2} = \frac{56}{8} = 7.$

4) Wegen $c = o$ und $M = m$ ist $x = \frac{C}{2} = \frac{8}{2} = 4$

und blos $c = o$ giebt $x = \frac{CM}{M + m} = \frac{48}{8 + 4} = 4.$

102. Die Wirkung des Stoßes bei den elastischen Körpern hängt nicht blos von der Masse und von der Geschwindigkeit ab, wie bei den unelastischen, sondern auch noch von der Rückwirkung der Elasticität. Wir haben hier zu unterscheiden: die Zusammendrückung der Körper und die darauffolgende Herstellung ihrer Gestalt. Die zusammengedrückten elastischen Körper wirken nämlich, indem sie, wenn die zusammendrückende Kraft zu wirken aufgehört hat, ihre Gestalt wieder herstellen, bewegend auf einander, und zwar jeder auf den andern mit der Kraft, mit welcher er zusammengedrückt wurde. Durch die Rückwirkung der Elasticität bekommt jeder Körper einen seiner ursprünglichen Bewegung entgegengesetzten Stoß, wodurch jeder am Bewegungsmomente doppelt so viel verliert oder gewinnt, als er verloren oder gewonnen hätte, wenn beide Körper unelastisch gewesen wären. Auch hier heben wir nur folgende leichte Fälle heraus:

1) Stoßen zwei elastische Kugeln von gleichen Massen und mit gleichen Geschwindigkeiten gegen einander, so springen sie mit eben so großen Geschwindigkeiten von einander, jede auf dem Wege, auf welchem sie ankam; denn die erste Wirkung des Zusammentreffens ist, wie bei den unelastischen Kugeln, die völlige Vernichtung der Geschwindigkeiten, die zweite aber die, daß die wegen gleicher Quantitäten der Bewegung durch den Stoß gleich stark zusammengedrückten Kugeln sich auch durch die Elasticität gleich stark ausdehnen, und zwar mit der Kraft, mit welcher sie zusammengedrückt wurden, und so treibt jede die andere so schnell zurück, als sie ankam.

2) Stoßen sie aber mit ungleichen Geschwindigkeiten an einander, so springen sie mit verwechselten Geschwindigkeiten zurück; denn die erste

Wirkung ist wie bei den unelastischen, daß beide die halbe Differenz der Geschwindigkeiten annehmen, wobei die auch jetzt noch in der ursprünglichen Richtung bleibende als an Geschwindigkeit verlierend, die andere, welche die entgegengesetzte Richtung annimmt, aber als gewinnend betrachtet wird. Die zweite Wirkung ist, daß durch die Rückwirkung der Elasticität die verlierende Kugel noch ein Mal dieselbe Geschwindigkeit verliert, die gewinnende noch ein Mal dieselbe Geschwindigkeit gewinnt, was zur Folge die Verwechselung der Geschwindigkeiten in entgegengesetzter Richtung hat.

Bewegt sich eine Kugel von 9m Geschwindigkeit einer gleich großen derselben elastischen Materie von 5m Geschw. entgegen, so erhalten sie durch den Stoß zuerst $\frac{9-5}{2} = 2$m Geschw. in der Richtung der ersteren, wodurch diese 7m verloren hat, da sie von 9m nur 2 in derselben Richtung behalten hat, die andere aber 7m gewonnen hat, da sie von 5m auf 2m in entgegengesetzter Richtung gekommen ist. Verliert nun jene durch die Rückwirkung der Elasticität von ihren 2m noch 7m, so geht sie in entgegengesetzter Richtung mit 5m zurück, und gewinnt diese zu ihren 2m in entgegengesetzter Richtung noch 7m, so geht sie mit 9m Geschw. zurück.

3) Bewegt sich eine elastische Kugel hinter einer andern elastischen, sich aber langsamer bewegenden Kugel von gleicher Masse, so gehen sie beide nach dem Stoße in derselben Richtung, aber mit verwechselten Geschwindigkeiten weiter, denn die erste Wirkung ist auch hier, wie bei den unelastischen Kugeln, daß sie mit der halben Summe der Geschwindigkeiten in der gemeinschaftlichen Richtung fortgehen, die zweite aber, daß sich Gewinn und Verlust an Geschwindigkeit durch die Rückwirkung der Elasticität wiederholen.

Holt eine elastische Kugel von 9m Geschw. eine gleich große derselben Materie von 5m Geschw. ein, so erhalten sie durch den Stoß eine Geschw. von $\frac{9+5}{2} = 7$m; jene hat also 2m verloren, diese 2m gewonnen, und indem jene durch die Rückwirkung der Elasticität noch ein Mal 2m verliert, diese noch ein Mal 2m gewinnt, geht jene mit 5, diese mit 9m weiter.

4) Auch wenn eine bewegte elastische Kugel auf eine ruhende elastische von gleicher Masse trifft, findet eine Umkehrung statt; die gestoßene Kugel geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden in der Richtung derselben vorwärts, und die stoßende bleibt stehen; denn die erste Wirkung ist wieder, wie bei den unelastischen Kugeln, daß sie die halbe Geschwindigkeit annehmen, die zweite aber, daß die stoßende durch die Rückwirkung der Elasticität auch diese halbe Geschwindigkeit verliert, also stehen bleibt, die gestoßene aber noch ein Mal die halbe Geschwindigkeit erhält, mithin mit der ganzen Geschwindigkeit der stoßenden fortgeht.

5) Schwieriger ist die Betrachtung, wenn die elastischen Kugeln ungleiche Massen haben, wiewohl sie sich nur auf das hier Vorgetragene gründet, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Trifft eine Kugel von 7 kg Gew. und 1 m Geschw. auf eine ihr entgegenkommende Kugel von 4 kg und 10 m Geschw., so stünde, wenn sie unelastisch wären, $40 - 7 = 33$ und $^{33}/_{11} = 3$ m; da diese Geschwindigkeit auf die Richtung des Körpers mit der größeren Quantität der Bewegung Bezug hat, so hat die Kugel von 7 kg 4 m Geschw. gewonnen, da sie jetzt mit 3 m rückwärts, also in der Richtung der andern geht, die Kugel von 4 kg aber 7 m Geschw. verloren; verdoppelt sich nun durch die Rückwirkung der Elasticität sowohl Gewinn als Verlust, so wird die Kugel von 7 kg mit 7 m Geschw., die von 4 kg mit 4 m Geschw. zurückgehen.

Folgt auf eine Kugel von 4 kg und 6 m Geschw. eine andere von 1 kg und 11 m Geschw., so würden sie, wenn sie unelastisch wären, da 4 m Geschw. Verlust bei 1 kg erst 1 m Geschw. Gewinn bei 4 kg hervorbringen, nach dem Stoße 7 m Geschw. annehmen. Die Verdoppelung des Gewinnes und Verlustes giebt jener 8, dieser 3 m Geschw. — Trifft auf eine ruhende 8 kg schwere Kugel eine andere 4 kg schwere mit 6 m Geschw., so würden sie sich als harte Kugeln nach dem Stoße mit 2 m Geschw. fortbewegen, die erstere würde also 2 m gewinnen, die zweite 4 m verlieren. Durch die Verdoppelung des Gewinnes und des Verlustes geht jene mit 4 m Geschwindigkeit in der Richtung der stoßenden vorwärts, diese selbst aber mit 2 m Geschw. zurück.

Der Verlust des Bewegungsmomentes harter Körper (§ 101) wird bei dem elastischen durch die Rückwirkung der Elasticität verdoppelt; er ist also:

$$\frac{2 M m (C + c)}{M + m},$$

daher behält als Bewegungsmoment

$$\text{der erste Körper } MC - \frac{2 M m (C + c)}{M + m} = \frac{M C (M - m) - 2 M m c}{M + m}$$

$$\text{der zweite Körper } m c - \frac{2 M m (C + c)}{M + m} = \frac{- m c (M - m) - 2 M m C}{M + m}.$$

Wenn die Geschwindigkeit des ersten Körpers nach dem Stoße C^1 und des zweiten c^1 heißt, so ist:

$$M C^1 = \frac{M C (M - m) - 2 M m c}{M + m}, \text{ also } C^1 = \frac{C (M - m) - 2 m c}{M + m}$$

$$\text{und auf ähnliche Art } c^1 = \frac{c (m - M) - 2 M C}{M + m}.$$

Die Anwendung auf die behandelten Fälle giebt:

1) Wegen $M = m$ und $C = c$ für beide Körper: $- C$, d. h. — ?

2) Wegen $M = m$ für den ersten Körper: $- c$ } d. h. — ?
„ „ zweiten „ $- C$ }

3) Wegen $M = m$ und statt $- c$ gesetzt $+ c$
für den ersten Körper c
„ „ zweiten „ $- C$.

4) Wegen $M = m$ und $c = o$
für den ersten Körper o } d. h. — ?
„ „ zweiten „ $- C$ }

5) a, $C^1 = \frac{- 3 . 10 - 14}{11} = - 4$ u. $c^1 = \frac{3 . 1 - 2 . 4 . 10}{11} = - 7$.

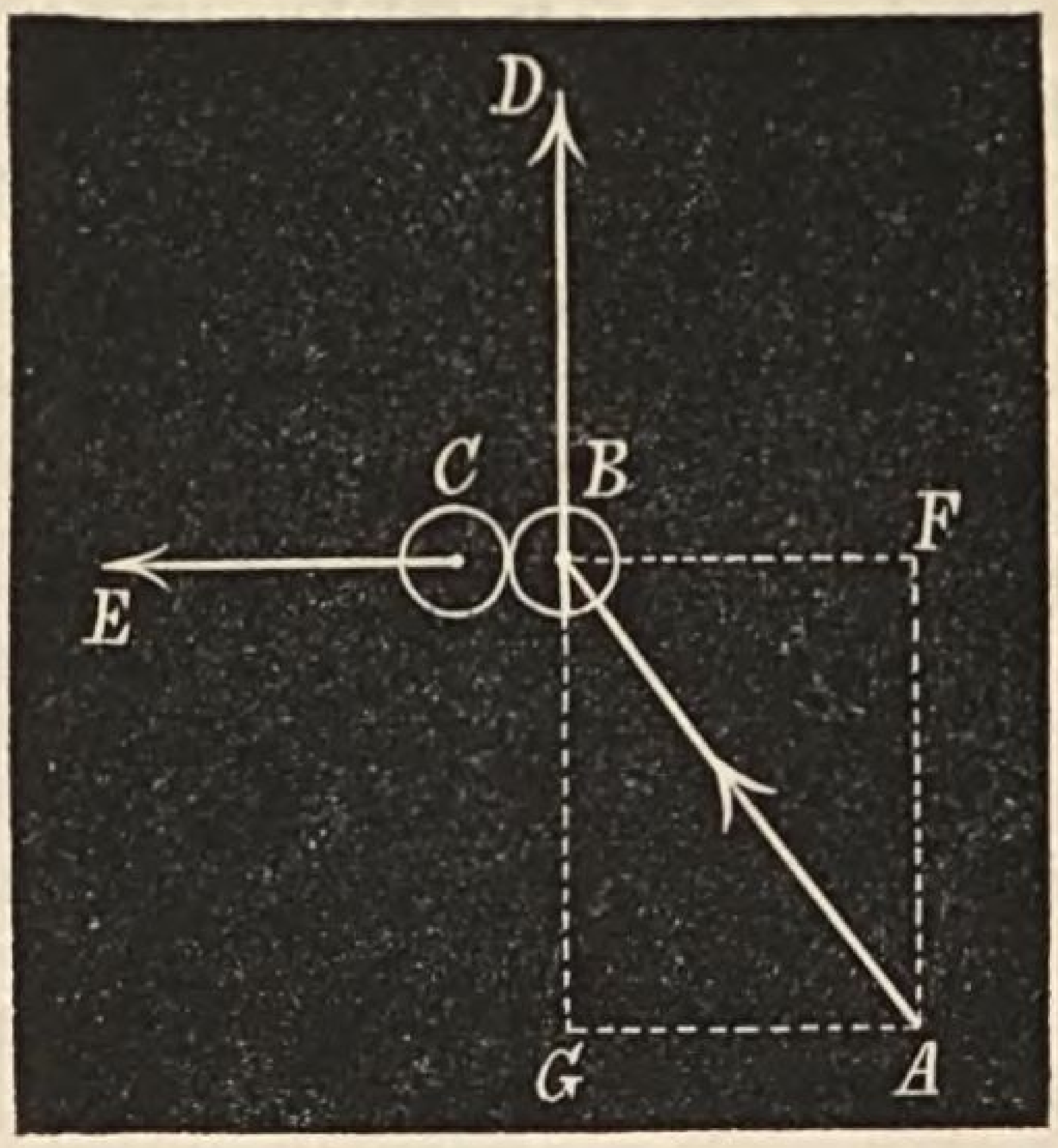
b, $C^1 = \frac{3.6 + 2.1.11}{5} = 8$ u. $c^1 = \frac{-3.(-11) - 2.4.6}{5} = - 3$

c, $C^1 = \frac{- 4 . 6 - 0}{12} = - 2$ u. $c^1 = \frac{4 . 0 + 2 . 4 . 6}{12} = 4$

Nollet's Perkussions- oder Stoßmaschine. —

6) Wird in Figur 38 eine ruhende elastische Kugel C von einer zweiten elastischen Kugel B gleicher Masse in einem schiefen Stoße AB getroffen, so wird sie in der geraden Linie CE fortbewegt, welche durch die Mittelpunkte der beiden Kugeln und deren Berührungspunkt geht, während die stoßende Kugel in einer auf dieser Linie senkrechten Richtung BD fortgeht.

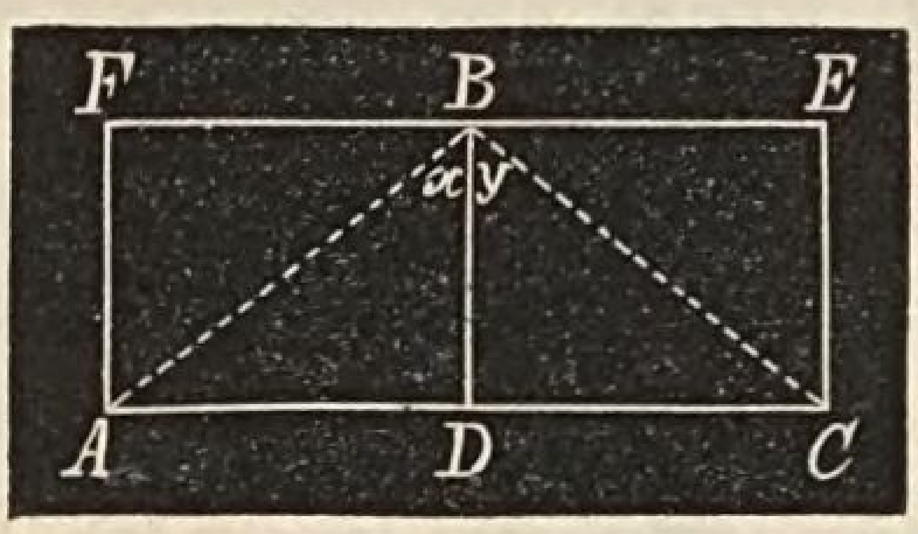
Figur 38.



103. Wenn eine unelastische Kugel gegen eine feste Ebene senkrecht stößt, so hebt diese ihre Bewegung auf; trifft aber eine elastische Kugel eine feste Ebene senkrecht, so springt sie durch die Rückwirkung der Elasticität in der entgegengesetzten Richtung und mit derselben Geschwindigkeit zurück.

Wenn eine unelastische Kugel eine feste Ebene FE, Figur 39, schief trifft, so läßt sich der schiefe Stoß AB in einen senkrechten DB = AF und in einen der Ebene parallelen FB = AD zerlegen, und indem jener durch die Ebene selbst aufgehoben wird, bewegt sich durch diesen die Kugel parallel mit der Ebene fort, längs BE, aber mit geringerer Geschwindigkeit, da BF kleiner ist als AB. Anders aber ist der Erfolg, wenn die schief stoßende Kugel elastisch ist; in B angekommen, ist sie der Wirkung zweier Kräfte ausgesetzt, nämlich der vorhin schon angegebenen längs der Ebene wirkenden BE = AD und der durch die Rückwirkung der Elasticität entstehenden, vermöge welcher sie längs BD = FA zurückspringen müßte, woraus folgt, daß sie längs der Diagonale BC zurückprallt. Wegen △ ADB ≅ △ DBC ist ∠ x = ∠ y. Von diesen Winkeln heißt x der Einfallswinkel und y der Zurückwerfungswinkel, so wie BD das Einfallslot. Man sagt daher: Ein elastischer Körper wird von einer festen Ebene immer so zurückgeworfen, daß der Zurückwerfungswinkel gleich ist dem Einfallswinkel.

Fig. 39.



Ballspiel — Billardspiel. — Die Kugeln auf dem Billardspiel nehmen außer der gleitenden Bewegung auch eine rollende an, weshalb sich die Lehre vom Stoße an ihnen nicht gut zeigen läßt.

Ein in Bewegung versetzter Körper beharrt in seiner Richtung und Geschwindigkeit (§ 28), kann durch dieselbe einen Widerstand überwinden, eine nützliche Wirkung hervorbringen. Der herabgefallene Körper würde mit der erlangten Geschwindigkeit weiter gehen, übt also auf den hindernden Widerstand einen der Masse und der Geschwindig-

keit des Körpers entsprechenden Druck = M . C (§ 34) aus, welcher als bewegende Kraft wieder benutzt werden kann. — Der Wagenzug auf einer Eisenbahn bewegt sich mit großer Gewalt fort, wenn auch die Dampfmaschine ihn nicht mehr treibt. — Diese Wirkungs- und Arbeitsfähigkeit eines Körpers nennt man seine lebendige Kraft. Um dieselbe zu messen, nimmt man als Einheit die Kraft an, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm in 1 Sekunde 1 Meter hoch zu heben: man nennt diese ein Meterkilogramm (1 mk). — Eine Pferdekraft rechnet man zu 75 mk; eine Menschenkraft zu 10 desgleichen. — Man pflegt die lebendige Kraft zu bestimmen als Produkt aus der Masse mit dem Quadrat der Geschwindigkeit.

Vierter Abschnitt.

Von den flüssigen Körpern.

104. Alle Erscheinungen flüssiger Körper beruhen auf der Schwere und der leichten Verschiebbarkeit ihrer Teile. Wegen dieser Eigenschaften muß Wasser, wie jede andere Flüssigkeit, wenn es auf eine horizontale Ebene gegossen wird, zerfließen, und auf einer schiefen Ebene herabfließen; die oberen Teile drücken nämlich vermöge ihrer Schwere auf die unteren, und diese weichen vermöge ihrer leichten Verschiebbarkeit aus. Wasser kann mithin nur in Gefäßen angehäuft werden, und seine in Ruhe gekommene freie Oberfläche muß horizontal sein. Diese horizontale Oberfläche heißt der Spiegel der Flüssigkeit, Wasserspiegel oder Niveau. — Die für die festen Körper ermittelten Gesetze, wie vom Fall, Parallelogramm der Kräfte, gelten auch für die flüssigen, wenn nicht die Verschiebbarkeit der Moleküle eine Abänderung bewirkt.

In Folge der Kohäsion (§ 20) bilden kleine Wasserteile kugelförmige Tropfen. Die Richtungen der Schwere stehen auf dem Wasserspiegel senkrecht. — Die Oberfläche der Flüssigkeiten in Haarröhrchen ist nicht horizontal sondern konvex oder konkav (22). Weit ausgedehnte Wasserflächen, wie die Oberfläche des Meeres, bilden Kugelabschnitte — die eines Flusses: eine schiefe Ebene.

105. Ein Druck, welchen man auf einen Teil der eingeschlossenen Flüssigkeit ausübt, verbreitet sich gleichmäßig nach allen Seiten hin durch dieselbe. Denkt man sich ein Gefäß mit Wasser gefüllt, und an einer Stelle eine verschiebbare Röhre von 1 Quadratcentimeter Weite, auf welche ein Druck von 20 kg ausgeübt wird, so erleidet jeder Quadratcentimeter auf dem Boden sowohl als an der oben begrenzenden Decke, an den Seitenwänden wie mitten im Wasser einen solchen Druck von 20 kg, abgesehen von dem Druck, welchen das Gewicht des

Wassers bewirkt. — Da jedes Wasserteilchen der Oberfläche auf das unter ihm liegende vermöge seiner Schwere einen Druck ausübt, dieses aber sowohl wegen seiner eigenen Schwere, als auch wegen des auf ihn von oben herab ausgeübten Druckes nicht nur herabwärts, sondern auch, weil es gewaltsam zwischen die Wasserteile derselben Horizontalebene eingepreßt wird, seitwärts drückt, so folgt hieraus, daß das in einem Gefäße eingeschlossene Wasser sowohl auf den Boden, als auch auf die Seitenwände einen Druck ausübt, welcher, in jeder horizontalen Schicht gleich groß, mit der Tiefe unter dem Niveau wachsen muß. Eben so notwendig ist es, daß in jeder Schichte der Flüssigkeit dem Drucke herabwärts ein gleich großer Druck heraufwärts entgegenwirkt; wir unterscheiden daher Bodendruck, Seitendruck und Aufdruck des Wassers.

Die Größe des Druckes auf dem Boden wird nicht durch die Menge des Wassers bestimmt, welche das Gefäß enthält, oder durch die Form des letzteren, sondern stets durch die Größe des Bodens und durch die Höhe, bis zu welcher es darin steht. Es ist nämlich der Bodendruck gleich dem Gewichte einer vertikalen Wassersäule, deren Grundfläche der Boden dieses Gefäßes, und deren Höhe die Entfernung des Wasserspiegels vom Boden ist. Es ist mithin nur in Gefäßen mit senkrechten Wänden, also auch von überall gleicher Weite, der Druck auf den Boden genau gleich dem Gewichte der darin enthaltenen Wassermenge; in sich verengenden dagegen größer, so wie in sich erweiternden kleiner, als das Gewicht derselben. Um ein gefülltes Glas zu halten oder auf der Wage zu wiegen, ist aber natürlich immer eine Kraft nötig, die gleich ist der Summe der Gewichte des Wassers und des Gefäßes selbst. Hydrostatische Paradoxen. —

Da das Gewicht eines Kubikcentimeter Wasser (§ 24) ein Gramm ist, so wiegt ein Kubikmeter Wasser (bei + 4 °C): 1000 Kilogramm. Hätte man ein Gefäß von 1 Quadratmeter Grundfläche und stände das Wasser darin 5 m hoch, so hätte der Boden des Gefäßes einen Druck von 5000 kg auszuhalten; und dieser Druck müßte derselbe bleiben, wie verschieden auch die Form der Seitenwände wäre und danach das Gewicht des im Gefäß enthaltenen Wassers sich änderte. — Würde eine cylindrische Röhre und ein konisches Gefäß von gleicher Grundfläche (r) und gleicher Höhe (h) mit Quecksilber, welches 13,6 mal schwerer als Wasser ist, gefüllt, so müßte in beiden der Bodendruck $r^2 \pi h$ 13600 kg betragen, obgleich das Gewicht des Quecksilbers im zweiten Gefäß nur $^1/_3$ von dem im ersten ist. Z. B. $r = 0{,}5$ m; $h = 4$ m; so beträgt der Bodendruck in beiden 42743 kg und ebensoviel das Gewicht des Quecksilbers in der cylindrischen Röhre, aber in dem konischen Gefäß nur 14248 kg. Hätte aber das Gefäß bei derselben Grundfläche und Höhe die Form eines abgestumpften Kegels, bei welchem der Halbmesser der Deckfläche 1 m wäre, so bliebe der Bodendruck derselbe, aber das Gewicht des im Gefäß enthaltenen Quecksilbers betrüge 99733 kg.

Der Aufdruck des Wassers läßt sich einfach durch einen am unteren Rande abgeschliffenen Glascylinder und einer eben abgeschliffenen Kreisscheibe aus Glas oder Metall, in deren Mitte eine Schnur befestigt ist, zeigen, indem man den Cylinder mit der mittelst der Schnur angezogenen Bodenscheibe in ein Gefäß mit Wasser herabläßt und die Schnur sodann locker hält oder losläßt.

106. Auch der Seitendruck hängt nicht von der im Gefäße enthaltenen Wassermenge ab, sondern von der Größe der gedrückten Stelle und ihrer Entfernung vom Wasserspiegel. Dieser Seitendruck ist gleich dem Gewichte einer vertikalen Wassersäule, deren Grundfläche der betrachteten Stelle der Seitenwand, und deren Höhe der Entfernung des Schwerpunktes dieser Stelle vom Wasserspiegel gleich ist.

Die Röhren bei Wasserleitungen müssen desto stärker sein, je tiefer sie zu liegen kommen; leere, luftdicht geschlossene Flaschen, sehr tief ins Meer versenkt, wurden zerdrückt. — Scoresby erzählt, daß das Holz eines Bootes, welches von einem Wallfische vielleicht an 315 m tief herabgezogen worden war, durch den Druck des Wassers in dieser Tiefe (auf den Quadratmeter von jeder Seite 1 . 315 . 1000 kg = 315000 kg) so verdichtet wurde, daß es später, auch ausgetrocknet, nicht mehr schwimmen konnte. — Druck des Wassers gegen Dämme, Schleusen u. s. w. Segner'sches Wasserrad, dessen Rotation darauf beruht, daß der Seitendruck nach der einen Richtung durch Herausfließen des Wassers aufgehoben wird, während er nach der entgegengesetzten Richtung, wo keine Öffnung ist, verbleibt, wodurch eine Bewegung nach dieser Richtung entsteht. Auf gleicher Wirkung beruhen auch die Rückwärtsbewegungen abgeschossener Kanonen und Gewehre, so wie die Bewegung der Raketen und Feuerräder. Diese Erscheinungen beim Ausströmen der Flüssigkeiten und Gase beruhen auf der sogenannten Rückwirkung des Stoßes.

Wird ein würfelförmiges Gefäß mit einer Flüssigkeit gefüllt, so erleidet jede Seitenwand einen halb so großen Druck, als der Boden; ist die Seite des hohlen Würfelraumes = 0,2 m, so beträgt jener beim Wasser 0,008 . 1000 kg = 8 kg, dieser auf jede Seitenwand 4 kg, so wie jener beim Quecksilber 13,6 . 8 kg = 108,8 kg und dieser 54,4 kg.

107. Kommunizierende Röhren und Gefäße nennt man zwei oder mehrere Röhren oder Gefäße dann, wenn sie mit einander so verbunden sind, daß Flüssigkeiten aus einer in die andere fließen können. Das Gesetz der kommunizierenden Röhren ist: Gleichartige Flüssigkeiten (Wasser und Wasser, Quecksilber und Quecksilber) stehen in kommunizierenden Röhren von gleichen und ungleichen Weiten, auch bei verschiedener Richtung, zur Zeit der Ruhe oder des Gleichgewichts in gleichen Höhen; so also, daß die Flüssigkeits-Oberflächen in einerlei Horizontalebene liegen; ungleichartige Flüssigkeiten (Wasser und Quecksilber) stehen dagegen in ungleichen Höhen, und zwar im genau umgekehrten Verhältnisse ihrer specifischen Gewichte. Eine enge Wassersäule kann also einer sehr weiten, aber eben so hohen, das Gleichgewicht halten.

Wasserleitungen, Wasserwagen oder Kanalwagen (Nivellierinstrument), Studierlampen; die Höhe des Standes einer Flüssigkeit in Fässern, Blasen und Dampfkesseln prüft man durch Standmesser, d. i. Glasröhren, welche außerhalb des Behälters senkrecht stehend, durch horizontale Rohrverbindungen mit dem unteren und oberen Raume (Dampfraum bei Dampfkesseln) kommunizieren. Das bei jedem Flusse sich vorfindende Grundwasser, die Standbrunnen, Brunnen, die immer denselben Wasserstand behalten, stehen mit Flüssen, Seen oder anderen großen unterirdischen Wasserbehältern in Verbindung (der deutsche Born in Halle). Die Erscheinungen der gegenseitigen Durchdringung verschiedener Flüssigkeiten sind in §. 22 ausführlich besprochen.

108. Verstopft man von zwei ungleich langen kommunizierenden Röhren die kürzere, und gießt in die längere so lange Wasser, bis sie voll erscheint, so muß aus der kürzeren, wenn sie darauf geöffnet wird, das Wasser herausfließen, und zwar mit einer Geschwindigkeit, vermöge welcher es bis zum Niveau des Wassers in der längeren Röhre sich erheben könnte. Hierauf beruht die Einrichtung der hydrostatischen Springbrunnen.

Natürliche und künstliche Springbrunnen, hervorsprudelnde Quellen, Quellen am Fuße der Berge. Daß bei einem Springbrunnen der aufsteigende Strahl nicht eine der Druckhöhe gleiche Höhe erreicht, liegt an der Reibung, dem Widerstande der Luft und daran, daß das bereits herabfallende Wasser das noch aufsteigende trifft und herabdrückt. Der erste vertikale Strahl steigt daher am höchsten, etwa $^2/_3$ der Druckhöhe; daher steigt auch das Wasser höher, wenn die Ausflußöffnung so angebracht ist, daß der Strahl nicht ganz senkrecht aufsteigt und mithin das herabfallende und aufsteigende Wasser sich in entgegengesetzten Richtungen neben einander bewegen. Im Springbrunnen in Wilhelmshöhe bei Kassel springt das Wasser, welches in geneigter Ebene 78 m herabfällt, 44 m hoch; in Herrenhausen bei Hannover 37 m, in Nymphenburg bei München 25 m.

Die artesischen Brunnen, von der Provinz Artois wegen ihrer dortigen häufigen Anlegung so genannt, sind, oft mehrere hundert Meter tief, in die Erde gebohrte Löcher, die mit Röhren ausgefüllt werden, durch welche das Wasser aus dieser großen Tiefe über die Oberfläche der Erde kräftig herausströmt. Ihre Erklärung scheint hierher zu gehören. Stehen nämlich höher und tieferliegende, mit Wasser gefüllte Höhlen mit einander in Verbindung, so muß das Wasser durch ein in den tiefer gelegenen Wasserbehälter gebohrtes Loch hervorquellen. Solche wasserreiche Höhlungen scheinen besonders häufig in Kalksteingebirgen vorzukommen.

Die Bohrquelle zu Grenelle bei Paris ist 534 m tief, in Bruck bei Erlangen 140 m; dort springt das Wasser 27 m, hier aus einer zwei Zoll weiten Röhre 22 m hoch.

109. Wenn eine der kommunizierenden Röhren lang und eng ist, die andere aber kurz und weit, so kann sehr weniges Wasser einen sehr bedeutenden Druck ausüben. Wird nämlich die kürzere Röhre mit einem Deckel geschlossen, und in die längere so lange Wasser gegossen, bis nicht nur jene voll ist, sondern bis es in dieser noch höher steht, so erleidet der Deckel notwendig einen Druck nach oben, bewirkt von derjenigen Wassermenge, welche in der längeren Röhre über dem Niveau in der kürzeren steht, da ja die weite und die enge Wassersäule bis zum Niveau der ersteren sich nach § 107 das Gleichgewicht halten. Der Deckel muß aber eben so stark hinaufgedrückt werden, als er herabgedrückt würde, wenn sich über ihn die Wassersäule der kürzeren Röhre erhöbe bis zur Höhe des Wasserstandes in der längeren. Dieser Druck nach oben ist daher gleich dem Gewichte einer Wassersäule, die zur Grundfläche die Grundfläche der kürzeren Röhre, zur Höhe aber die Differenz der Höhen der Wasserstände in den beiden Röhren hat. Nach diesem

Gesetze ist leicht einzusehen, daß der Druck nach oben in der kürzeren Röhre immer so viele Male das Gewicht der diesen Druck verursachenden Wassermenge in der längeren Röhre übertrifft, als oft die Grundfläche der weiten Röhre die der engen übertrifft, wenn die Röhren, jede für sich, überall gleiche Weiten haben; überhaupt ist der durch das Wasser fortgepflanzte Druck jedes Mal der gedrückten Fläche proportional.

Wolf's anatomischer Heber — s'Gravesand's hydrostatischer Blasebalg — Zersprengen von Cisternen, die das Regenwasser vom Dache mittelst Röhren aufnehmen — Erdfälle — Vorsicht beim Bauen des Schleusenbodens.

Vorzüglich belehrend sind hier Real's Wasserpresse (Gehler VII., Fig. 126, Real's Auflösungspresse, Extraktpresse, hydrostatische Presse) und Brahma's Wasserpresse (hydromechanische Presse). Das Wesentliche jener besteht in einem weiten, niederen Cylinder (0,3 m Höhe und etwa 0,6 m Durchmesser), in dessen luftdicht anzulegendem Deckel senkrecht eine hohe, enge, oben trichterförmig ausgehende Röhre (26 Millimeter etwa im Durchmesser und 0,6 bis 25 m Höhe) fest angeschraubt wird. Der Cylinder hat drei Abteilungen, gebildet durch zwei siebartige Horizontalwände, wovon die untere fest, die obere aber beweglich ist. Die obere Abteilung nimmt die auflösende Flüssigkeit (Wasser, Weingeist, Säure) auf, die mittlere zwischen den beiden Sieben den Körper im zerpülverten Zustande, aus welchem die Auflösung gewonnen werden soll, die untere endlich die Auflösung, welche durch einen im Boden befindlichen Hahn herausgelassen werden kann. Das auflösende Mittel wird durch den fein gepülverten festen Körper getrieben durch die Kraft des in die hohe, enge Röhre gegossenen Wassers, welches hier wie eine Presse wirkt; dieser engen Wassersäule Kraft ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche der Deckel, deren Höhe die Höhe des drückenden Wassers in der engen Röhre ist. Ist $R = 0{,}3$ m, $r = 0{,}013$ m, $h = 10$ m, so übt die enge Wassersäule einen Druck von 2827 kg aus, während sie selbst nur 5,3 kg wiegt.

Das Wesentliche von Brahma's Presse (Gehler VII., Fig. 135—137) sind zwei mit einander verbundene metallene Hohlcylinder von sehr ungleichen Durchmessern. Der enge Cylinder, dessen Kolben durch einen Hebel mittelst Menschenkraft oder auch direkt durch Maschinenkraft bewegt wird, wirkt als Druckpumpe; er steht mit einem Wasserbehältnisse in Verbindung, aus dem er sein Wasser durch ein nach innen sich öffnendes Ventil erhält. Aus der Druckpumpe gelangt das Wasser beim Heruntergehen des Kolbens in den weiten Cylinder durch ein in den letzteren hinein sich öffnendes Ventil; das Wasser im weiten Cylinder treibt den Druckklotz, einen massiven, genau anschließenden Cylinder, dessen oberer Teil eine zum Aufnehmen des zusammenzudrückenden Körpers bequeme Einrichtung hat, in die Höhe gegen den oberen Teil des stark gebauten Gerüstes. Mit welcher Kraft dieses geschieht, ist nach dem Vorhergehenden, wenn auf die Hindernisse der Bewegung keine Rücksicht genommen wird, leicht zu berechnen. Hat die Druckpumpe 0,04 m zum Radius, der weite Cylinder 0,48 m, so wird der Druck des Kolbens auf das Wasser in der Pumpe im weiten Cylinder 144 Mal vergrößert. Verhalten sich nun die Hebelarme wie 10 : 1, und wirkt an dem 10 Mal längeren Schenkel eine Menschenkraft von 50 kg, so geht der Kolben mit einer Kraft von 500 kg herunter und der Druckklotz mit $144 \times 500 = 72{,}000$ kg Kraft in die Höhe. Was hier der Hebel mit der Kraft von 50 kg leistet, könnte eine Wassersäule von 0,04 m Radius nur bei etwa 100 m Höhe bewirken, wegen $1000\,\text{kg} \, . \, r^2 \pi h = 500\,\text{kg}$. — Anwendung von Brahma's Presse zum Pressen von Papier, Tuch, Schießpulver, zum Entwurzeln der Bäume, zur Prüfung der Haltbarkeit der Kettenglieder u. s. w. — Wenn der Druckklotz gehoben werden soll, so muß die Wassermasse aus der engern Röhre die Grundfläche der weitern bedecken, und wird, wenn sie ganz übergeflossen ist, nur eine unbedeutende Höhe in der weitern erreichen. Es muß daher, um die Hebung des Druckklotzes

um 1m zu bewirken, der Pumpenkolben einen Weg von 144m durchlaufen, bei einer Hubhöhe von $^1/_4$m also 4 . 144 = 576 Hübe machen. Überhaupt gilt auch hier, wie bei allen Umwandlungen der Kräfte der Satz: Was an Druckkraft gewonnen wird, geht an Weglänge verloren.

110. Den Druck, welchen irgend eine Stelle des Bodens oder der Seitenwand eines Gefäßes von der darin befindlichen Flüssigkeit leidet, leidet auch die Flüssigkeit selbst an dieser Stelle, und dieser Druck ist die Kraft, welche die Flüssigkeit, wenn man sich die Stelle als Öffnung denkt, heraustreibt. Mit der Höhe des Wasserstandes nimmt diese Kraft zu, mit ihr die Geschwindigkeit des herausströmenden Wassers und zugleich die Menge desselben, aber nicht so, daß etwa bei einem 2, 3, 4 Mal so hohen Wasserstande die Geschwindigkeiten und die Wassermengen in bestimmten Zeiten auch 2, 3, 4 Mal so groß wären, sondern es sind die Geschwindigkeiten und also auch jene Wassermengen 2, 3, 4 Mal so groß bei 4, 9, 16 Mal so hohen Wasserständen, d. h. bei Öffnungen in Gefäßen verhalten sich die Geschwindigkeiten des ausfließenden Wassers, wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen, $v = 2\sqrt{gh}$, wobei nur zu merken ist, daß bei Bodenöffnungen die Entfernung des Bodens vom Wasserspiegel, bei Seitenöffnungen aber die Entfernung des Schwerpunktes der Öffnung vom Wasserspiegel die Druckhöhe ist. Man nimmt hierbei an, daß das Wasser im Gefäß in gleicher Höhe erhalten wird.

Sind in den Gefäßen A und B gleiche Bodenöffnungen, und wird in jenem das Wasser auf 4dm, in diesem auf 9dm Höhe erhalten, so verhalten sich die Geschwindigkeiten wie $\sqrt{4} : \sqrt{9}$ oder wie 2 : 3, d. h. fließen in A 2l Wasser heraus, so fließen in derselben Zeit aus B 3l. Dieselben Resultate erhalten wir auch, wenn diese Öffnungen Seitenöffnungen sind, über deren Schwerpunkten das Wasser 4dm und 9dm hoch steht. Bei unveränderter Druckhöhe, aber 2, 3, 4 Mal so großen Öffnungen wird natürlich die herausgeflossene Wassermenge 2, 3, 4 Mal so groß sein. Ist im vorigen Beispiele die Öffnung bei B 3 Mal so groß als bei A, bleiben die Druckhöhen unverändert, so verhalten sich zwar die Geschwindigkeiten wieder wie 2 : 3, aber B wird wegen der 3 Mal größeren Öffnung jetzt nicht 3, sondern 9l ausgießen, während A 2 ausgießt; also die Wassermengen wie 2 : 9, — überhaupt stehen die Wassermengen bei gleichen Öffnungen im geraden einfachen Verhältnisse der Geschwindigkeiten, aber bei ungleichen Öffnungen im geraden zusammengesetzten Verhältnisse der Geschwindigkeiten und der Größen der Öffnungen.

111. Zwischen dem Ausfließen des Wassers aus Öffnungen und dem freien Falle der Körper findet insofern eine Übereinstimmung statt, als in beiden Fällen sich die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Höhen verhalten. Das Wasser fließt mit der Geschwindigkeit heraus, welche es durch die Druckhöhe freifallend erhalten hätte. Auch bilden die Wasserstrahlen aus Seitenöffnungen, wenn die Hindernisse der Bewegung nicht berücksichtigt werden, Parabeln (§ 75).

112. Zur Bestimmung der Ausflußmenge in einer bestimmten Zeit führt folgende Überlegung. Ist die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers ungeändert c, die Fläche der Öffnung = a, so geht

durch die Öffnung in einer Sekunde ein Wasserprisma oder ein Wassercylinder von der Grundfläche a und der Höhe c hindurch, also in einer Sekunde die Wassermasse a c, in t Sekunden die Wassermasse t . a c.

Es betrage eine Öffnung 1 qdm, die Druckhöhe werde unverändert auf 4,9 m erhalten; wie viele Kubikmeter Wasser fließen in jeder Sekunde heraus? $c = 2\sqrt{gh}$ (§ 69); hier also 9,8 m; also a c = 9,8 . 0,01 = 0,098 Kubikmeter oder 98 Liter.

Die Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers erleidet jedoch in der Wirklichkeit eine Verminderung, teils durch das Zuströmen des Wassers von der Seite, teils durch die Reibung an der Öffnung, und daher giebt die Erfahrung immer eine kleinere Ausflußmenge, als sie nach der Theorie sein sollte. Da gleichzeitig in geringer Entfernung außerhalb der Öffnung eine Zusammenziehung des Wasserstrahles stattfindet, so sagt man, daß die geringere Ausflußmenge eine Folge der Zusammenziehung des Wasserstrahles sei.

Durch kurze cylindrische oder konische Ansatzröhren wird die Zusammenziehung der Wasserstrahlen vermindert, und dadurch also die ausströmende Wassermenge vermehrt.

Die Kraft, mit welcher fließendes Wasser auf einen ruhenden, festen Körper senkrecht stoßend wirkt, ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche die gestoßene Fläche, deren Höhe aber die aus der Geschwindigkeit sich ergebende Fallhöhe ist. Bezeichnet daher F die gestoßene Fläche, so ist, wegen

$$h = \frac{c^2}{4g} \text{ (§ 70), diese Kraft} = \frac{F \cdot c^2}{4g}$$

Bei den Wasserrädern wirkt fließendes Wasser an dem Umfange derselben durch sein Gewicht oder seinen Stoß. Es giebt senkrechte und horizontale Wasserräder, und die ersteren sind unterschlächtige (Stoß auf die untern Schaufeln) oder oberschlächtige (Gewicht des Wassers in den obern Zellen oder Kasten) oder auch mittelschlächtige (Gewicht und Stoß auf die Mitte des Rades). Das in Kanälen und Röhren fortfließende Wasser erleidet durch die Reibung an den Wänden eine Verminderung der Geschwindigkeit; so fließt auch in größern Flüssen das Wasser in der Mitte schneller, als am Ufer.

113. Die Wellen, welche im Wasser und in anderen Flüssigkeiten durch den Wind, durch Stoß, durch das Hineinfallen fester Körper, durch Herausheben eines Teiles derselben oder auf irgend eine andere Art erregt werden, bestehen aus abwechselnden Erhebungen über und Vertiefungen unter der ruhenden horizontalen Oberfläche; jene heißen Wellenberge, diese Wellenthäler. Denkt man sich einen senkrechten Durchschnitt, so ist die Durchschnittslinie der senkrechten Ebene mit dem Wellenberge konvex, mit dem Wellenthale konkav gekrümmt, nach oben hin bezogen; die von diesen Bogen begrenzten Stücke der Durchschnittslinie dieser senkrechten Ebene mit der ruhenden horizontalen Oberfläche heißen die Breiten des Wellenberges und des Wellenthales, so wie die Perpendikel aus dem höchsten und tiefsten Punkte auf sie, ihre Höhen, welche jeden Berg und jedes Thal in das

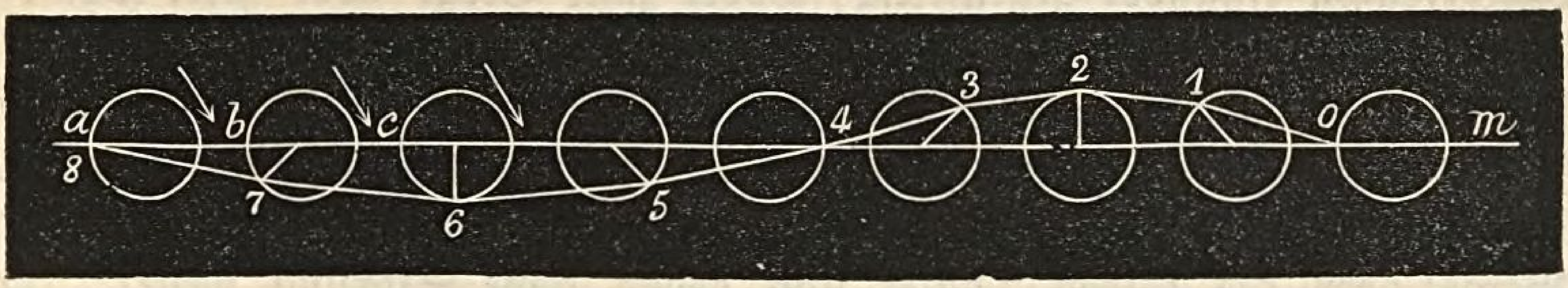
Vorder- und Hinderteil teilen, von denen jenes immer auf der Seite liegt, wohin die Wellenbewegung geht. Die Höhe der Welle ist die Summe aus den Höhen des Berges und des Thales, so wie die Breite oder Länge der Welle die Summe aus den Breiten ihrer beiden Teile. Auf einer in der bewegten Flüssigkeit und zwar in der Richtung der Bewegung senkrecht gestellten, mit Staub bestreuten Schiefertafel bildet sich die Gestalt der Wellen ab; die Vorderteile zeigen sich dabei stärker gekrümmt. Hier können aus den gründlichen Untersuchungen der Gebrüder Weber über diesen Gegenstand nur folgende Hauptsätze herausgehoben werden.

1) Fällt ein Stein in ruhendes Wasser, so entstehen um diese Stelle konzentrische Kreise durch die mit der Entfernung abnehmenden Erhebungen und Vertiefungen des Wassers. Die näheren Umstände dabei sind folgende: Die vom Steine getroffene Stelle vertieft sich, das Wasser erhebt sich um diese Vertiefung zu einem kreisförmigen Walle, senkt in Folge der Schwere sich wieder, aber zwei Wellen bildend, von denen die eine, sich nach außen bewegend, eine größere Kreiswelle, die andere aber, sich nach innen gleichsam zusammenziehend, im Mittelpunkte einen Hügel bildet. Dieser Wasserhügel fließt darauf nach allen Seiten ab und ist die Veranlassung zu neuer Wellenbildung, was sich noch einige Male wiederholt, wenn die Wellen dabei auch immer schwächer werden. Die Ruhe tritt nach und nach ein, vom Mittelpunkte ausgehend; ist nämlich im Mittelpunkte Ruhe eingetreten, so sieht man durch die letzte schwache Welle, indem sie fortschreitet, neue Wellen hervorbringen an denjenigen Stellen, welche sie verlassen hat, die aber nicht mehr nach innen zurückgehen, sondern sich nur nach außen fortbewegen. Indem nun so die Wellen zurückwirken, muß notwendig jede Welle von der ihr unmittelbar vorangehenden vergrößert werden. Die Fortpflanzung der Wellen beruht hiernach lediglich auf der Schwere.

2) Treffen im ruhenden Wasser erzeugte Wellen auf schwimmende Körper, so heben und senken sich diese abwechselnd, je nachdem unter ihnen abwechselnd Wellenberge und Wellenthäler entstehen, erhalten aber keine fortschreitende Bewegung — ein Beweis, daß die Flüssigkeit selbst nicht mit fortschreitet. Die Wellenbewegung der Oberfläche wird nur hervorgebracht durch die Rotation der Flüssigkeitsteilchen, von denen jedes folgende später zu rotieren anfängt, als das vorhergehende, und zwar in Bahnen, welche in der Richtung der Bewegung und in, auf der Oberfläche senkrechten, Ebenen liegen. Das Vorhandensein dieser Bahnen, so wie ihre Größe und Gestalt, haben die Gebrüder Weber (Ernst Heinrich und Wilhelm, Leipzig 1825) durch Beobachtung der Bewegung von Bernsteinstückchen, welche bei gleichem specifischen Gewichte mit dem Wasser in dasselbe gelegt worden waren, bestimmt. Diese Körperchen bewegten sich auf der Oberfläche des Wassers in Kreisen, unter derselben in Ellipsen, die mit der zunehmenden Tiefe immer niedriger wurden, so daß sie endlich nur in geraden Linien vorwärts und rückwärts gingen, was noch in einer Tiefe, die das 350fache

der Höhe der Welle ist, stattfand. Die Krümmung der Welle ist die Verbindungslinie der Orte sämmtlicher in der Länge der Welle rotierenden Wasserteilchen, welche in demselben Augenblicke sich in verschiedenen Punkten ihrer Kreisbahnen befinden, was Figur 40 deutlich machen soll,

Figur 40.



wo sich auf der Breite der Welle beispielsweise acht auf einander folgende Wasserteilchen befinden mögen, welche nach einander in der Richtung der Pfeile zu rotieren anfangen. Denken wir uns jede Bahnlinie in acht gleiche Teile geteilt, und die Wasserteilchen in solcher Entfernung von einander auf der Oberfläche a m, daß, indem das erste von a ausgehende eine ganze Bahn, also alle acht Teile, das zweite von b ausgehende erst sieben Teile, das dritte von c ausgehende erst sechs Teile ꝛc. zurückgelegt hat, so muß hiernach die Welle die durch die Ziffern 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0 angegebene Form haben. Hieraus folgt zugleich: 1) daß die Zeit, welche die Welle braucht, in ihrer ganzen Länge fortzuschreiten, gleich ist der Zeit, in welcher jedes Teilchen einen Umlauf oder eine Oscillation vollendet, oder auch: während ein Teilchen eine Oscillation zurücklegt, schreitet die Welle um eine Wellenlänge fort; 2) daß die Höhe der Welle gleich ist dem senkrechten Durchmesser der Bahn eines Wasserteilchens.

Flüssigkeitsteilchen, welche bei der Wellenbewegung um eine ganze Wellenlänge, z. B. die Gipfel zweier benachbarter Wellenberge oder die tiefsten Punkte zweier benachbarter Wellenthäler u. s. w., von einander entfernt sind, befinden sich in einem gleichen Schwingungszustande; diejenigen dagegen, welche nur um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt sind, im entgegengesetzten, z. B. der Gipfel eines Wellenbergs und der tiefste Punkt des benachbarten Wellenthales.

2) Ist das Wasser fließend, so bewegt sich der Mittelpunkt mit seinen konzentrischen Wellen mit der Geschwindigkeit des Wassers vorwärts, was man an einem in fließendes Wasser geworfenen Stücke Holz, welches immer im Mittelpunkte der konzentrischen Wellen bleibt, deutlich sieht. — In schmalen viereckigen langen Gefäßen sieht man Bogenwellen statt der Kreiswellen.

4) Die Höhe, Länge und Geschwindigkeit der Wellen hängt von der Stärke des sie veranlassenden Stoßes ab, wohl auch von der Tiefe der Flüssigkeit. Die Geschwindigkeit der nachfolgenden Wellen wird entweder größer oder kleiner oder bleibt unverändert dieselbe, je nachdem der Raum sich verengt, erweitert oder zwischen parallelen Wänden eingeschlossen ist. Beispiele dafür sind die Wellen, welche aus einem Teiche

in einen sich verengenden Kanal gehen; Wellen, welche in der Mitte eines Teiches, und endlich solche, welche in, mit parallelen Wänden versehenen, Kanälen erregt werden.

5) Werden zwei Wellensysteme erregt, indem man z. B. zwei Steine in einiger Entfernung von einander ins Wasser fallen läßt, so begegnen sich diese Wellensysteme und die einzelnen Wellen derselben durchkreuzen einander gegenseitig, wobei zwei Berge oder zwei Thäler oder endlich ein Berg und ein Thal zusammentreffen können. Haben die einander durchkreuzenden Wellen gleiche Höhen, so entsteht im ersten Falle ein Berg von fast doppelter Höhe, im zweiten ein Thal von fast doppelter Tiefe, und nach der Durchkreuzung trennen sich die beiden Berge oder die beiden Thäler und gehen ohne Störung weiter; im dritten Falle findet eine Ausgleichung statt in der horizontalen Oberfläche. Wenn daher in einem Gefäße an zwei solchen Orten Wellen erregt werden, daß zwei Arten unter sich paralleler Wellen entstehen, so muß es auf der Oberfläche der Flüssigkeit drei Arten von Stellen geben, solche, wo a) wegen des Zusammentreffens zweier Berge, Berge von doppelter Höhe, b) wegen des Zusammentreffens zweier Thäler, Thäler von doppelter Tiefe, und c) wegen des Zusammentreffens von Berg und Thal, mit der ruhenden Oberfläche zusammenfallende Ebenen entstehen. Diese letztere Erscheinung heißt die Interferenz der Wellen.

6) Wellen werden von einer festen Wand wie elastische Körper zurückgeworfen, so daß der Zurückwerfungswinkel gleich ist dem Einfallswinkel. Wellenstrahl — der einfallende und der zurückgeworfene Wellenstrahl — Einfallslot.

7) Wenn eine Kreiswelle auf eine senkrechte oder schiefe Ebene mit einer Öffnung trifft, so werden die Enden des durch die Öffnung gehenden Wellenbogens von ihrer fortschreitenden Bewegung so abgelenkt, daß sie in Bogen um die Wände sich herumbiegen. Diese Erscheinung hat den Namen Beugung der Wellen erhalten.

8) Werden in einem Gefäße mit senkrechten Wänden in regelmäßig wiederkehrenden Zeitabschnitten an derselben Stelle der Flüssigkeit Wellen erregt, z. B. im Quecksilber durch Eintauchen eines Körpers, so müssen sich reflektierte Wellen mit noch nicht reflektierten begegnen, und es erfolgen nach gewissen Zeitabschnitten durch das Zusammentreffen von Berg mit Berg, Thal mit Thal, und Berg mit Thal, an denselben Stellen dieselben Wellenerscheinungen, indem sich aus einem Thale von doppelter Tiefe eine Ebene, aus dieser ein Berg von doppelter Höhe, aus diesem eine Ebene u. s. w. an demselben Orte bildet. Solche Wellen nennt man stehende Wellen, und die unveränderlichen Grenzen der Berge und Thäler: Schwingungsknoten.

Weber's Wellenrinnen.

114. Werden mehrere Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewichte, welche nicht sich vermischen können, in dasselbe Gefäß gegossen, so ordnen sie sich so übereinander, daß sie, von unten nach oben betrachtet, am specifischen Gewichte abnehmen.

Elementarwelt, deren Flüssigkeiten gewöhnlich Quecksilber, Weinsteinöl, Alkohol, Steinöl sind. Die Kunst, Wasser in Wein zu verwandeln, mittelst des sogenannten Passevin, der aus zweien durch eine Röhre verbundenen hohlen Glaskugeln besteht, die sich senkrecht über einander befinden, und von denen die untere mit Wasser, die obere aber mit etwas specifisch schwererem, roten Wein gefüllt ist.

115. Wird ein fester Körper auf einen flüssigen gethan, so kann die Erscheinung dreifacher Art sein: je nachdem er von demselben, von größerem oder von kleinerem specifischen Gewichte als die Flüssigkeit ist.

1) Hat der feste Körper mit der Flüssigkeit dasselbe specifische Gewicht, so sinkt er, auf sie gelegt, so lange, bis seine Oberfläche genau in das Niveau fällt, so wie er auch an jeder Stelle in der Flüssigkeit ruhen oder schweben könnte. Die Wassersäule, auf welcher er ruht, trägt sein ganzes Gewicht, so wie sie vorher den eben so großen und eben so schweren, durch ihn verdrängten Wasserkörper trug; und da in Bezug auf eine Wage oder überhaupt auf eine den Körper haltende Kraft das Gewicht desselben in diesem Falle gar nicht vorhanden zu sein scheint, so sagt man: **Ein fester Körper verliert sein ganzes absolutes Gewicht, wenn er in eine Flüssigkeit von gleichem specifischen Gewichte gebracht wird.**

Eine gleichförmig durchgearbeitete Masse aus *einem* Gewichtsteile fein gepulverten Zinnobers und 226 Gewichtsteilen weißen Wachses hat mit dem Wasser gleiches specifisches Gewicht; es schwebt daher ein Körper aus dieser Masse im Wasser an jeder beliebigen Stelle. Wie verhält es sich mit dem Gesammtgewichte des Gefäßes mit Wasser, wenn ein solcher Körper hinzugethan wird? Oder wenn man die Hand oder auch einen in der Hand festgehaltenen Körper ins Wasser eintaucht, ohne die Gefäßwand zu berühren?

2) Ist der feste Körper specifisch schwerer, als die Flüssigkeit, so sinkt er, auf sie gelegt, zu Boden, aber nicht mit seinem ganzen Gewichte, sondern nur mit einem Teile. Es ist nämlich der aufwärts wirkende Druck auf die Unterfläche des Körpers, vermindert um den abwärts wirkenden Druck auf die oberen Flächenteile gleich dem Gewichte der von dem Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge; er sinkt mithin mit der Differenz zwischen seinem Gewichte und dem einer Flüssigkeitsmenge desselben Volumens herab; man sagt daher: **Jeder feste Körper, in eine specifisch leichtere Flüssigkeit eingetaucht, verliert von seinem absoluten Gewichte so viel, als die durch ihn verdrängte Flüssigkeit wiegt.**

In einer und derselben Flüssigkeit verliert ein großer Körper von seinem Gewichte mehr, als ein kleiner; so wie ein und derselbe Körper, in verschieden schwere Flüssigkeiten gethan, verschieden große Gewichtsverluste erleidet, und zwar einen desto größeren, je schwerer die Flüssigkeit ist. — Ein Mensch kann im Wasser eine größere Last tragen, als in der Luft. — Man kann im Wasser Steine oft bis an, aber nicht über die Wasseroberfläche heben. — Ein Hund kann einen ins Wasser gefallenen Menschen retten, indem er ihn bis ans Ufer zieht.

Das Untersinken fester Körper in flüssigen befolgt die Gesetze der in der Luft frei fallenden, nur daß die flüssigen einen größeren Gegen-

druck als die luftförmigen äußern, und zwar einen desto größeren, je specifisch schwerer sie sind; weshalb also die festen Körper im Wasser langsamer als in der Luft fallen.

3) Wird endlich ein fester Körper auf eine specifisch schwerere Flüssigkeit gelegt, so taucht er nur zum Teil ein, und zwar desto weniger, je schwerer sie ist. Er taucht immer so weit ein, daß die durch seinen eingetauchten Teil verdrängte Flüssigkeit so viel wiegt, als sein ganzes Gewicht beträgt; man sagt daher: Ein fester Körper, in eine specifisch schwerere Flüssigkeit gebracht, verliert sein ganzes absolutes Gewicht und muß noch in die Höhe steigen, d. h. schwimmen. Soll ein solcher Körper zum Untersinken gebracht werden, so muß er mit Körpern, die specifisch schwerer als die Flüssigkeit sind, so verbunden werden, daß das Ganze mehr wiegt, als die Flüssigkeit von demselben Rauminhalte. — Das allgemeine Gesetz: daß jeder in einer Flüssigkeit eingetauchte Körper soviel an seinem Gewicht verliert, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt, nennt man das Archimedische Princip. (Archimedes 250 vor Chr.)

Man kann auf das Verhältnis des specifischen Gewichtes verschiedener Flüssigkeiten schließen aus der Größe des Eintauchens eines und desselben festen Körpers, der specifisch leichter ist, als jede von ihnen. Holz sinkt im Weingeist unter, schwimmt im Wasser, ruht beinahe auf Quecksilber. — Durch die hydrostatische Wage, die an den unteren Flächen der Wageschalen Häkchen zum Aufhängen fester Körper mittelst Fäden hat, läßt sich diese dreifache Erscheinung in (1), (2) und (3) zeigen.

116. Nur ein specifisch leichterer Körper als Wasser schwimmt auf diesem von selbst. Aber auch specifisch schwerere Körper können zum Schwimmen gebracht werden, wenn ihnen eine solche Form durch Aushöhlung gegeben wird, daß sie weniger wiegen, als Wassermengen desselben Volumens; oder wenn man sie mit so bedeutend specifisch leichteren Körpern verbindet, daß im ganzen die verbundenen Körper weniger als eine Wassermenge von demselben Raume wiegen.

Hohle blecherne oder gläserne, wohlzugepfropfte Kugeln, Fässer und Flaschen schwimmen auf dem Wasser. — Schiffe von Eisen; Kähne, Rettungsboote, Schwimmgürtel. — Für die See gehörig belastete Schiffe müssen zum Teil entlastet werden, wenn sie in einen Fluß fahren, und die für das specifisch leichtere Flußwasser gehörig belasteten Schiffe können, wenn sie in die See fahren, noch Last aufnehmen. Leichname, welche durch die bei der Fäulnis sich entwickelnden Luftarten aufgetrieben werden, schwimmen; ein Ei, welches in reinem Wasser zu Boden sinkt, steigt in die Höhe und schwimmt, wenn das Wasser durch Auflösung hineingeworfenen Salzes (in der Lauge) hinlänglich verdichtet worden ist. Die Stabilität (§ 63) des schwimmenden Körpers ist um so sicherer, je tiefer sein Schwerpunkt unter dem des verdrängten Wassers liegt. Daher werden die unteren Schiffsräume mit möglichst schweren Körpern ausgefüllt. — Man muß künstliches oder aktives und natürliches oder passives Schwimmen von einander unterscheiden. Dieses hängt nur vom specifischen Gewichte, jenes aber vom specifischen Gewichte, von der Bewegung des Körpers und dem Widerstande des Wassers ab. Das specifische Gewicht des Menschen ist im Durchschnitt 1,06. Kork, Blasen u. s. w. an den menschlichen Körper gebunden, Einatmen der Luft, können ihn über dem Wasser erhalten. Manche können ruhig auf dem Rücken liegend schwimmen; im Seewasser ist es leichter zu schwimmen; als im Flußwasser. Der Neapolitaner Paolo Moccia, welcher in der zweiten Hälfte

des 18. Jahrhunders lebte, sank im Meerwasser (1, 029 sp. Gw.) nur bis in die Mitte der Brust ein.

117. Da das Verhältnis der absoluten Gewichte zweier Körper von gleichem Volumen auch das Verhältnis ihrer specifischen Gewichte ist, so läßt sich zur Bestimmung des specifischen Gewichtes der Körper eine Proportion aufstellen, und aus derselben eine immer anwendbare Regel ableiten. Nennen wir nämlich das absolute Gewicht des zu prüfenden Körpers a, das des Wassers von gleichem Volumen A, das gesuchte specifische Gewicht des Körpers aber x, und nehmen wir das des Wassers als Einheit an, so steht:

$$A : a = 1 : x, \text{ also } x = \frac{a}{A},$$

d. h. das specifische Gewicht eines Körpers findet man, wenn man sein absolutes Gewicht dividiert durch das absolute Gewicht eines eben so großen Wasserkörpers. Hiernach besteht die Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers in der Angabe der Zahl, mit welcher das Gewicht des gleichen Volumens Wasser multipliziert werden muß, um das Gewicht des Körpers zu erhalten. (§ 24.)

Das Wasser muß vollkommen rein sein und eine bestimmte Temperatur haben; gewöhnlich nimmt man die Temperatur der größten Dichtigkeit des Wassers, d. i. $+4^0 C = 3{,}2^0 R.$, oder die mittlere Temperatur von $+ 17{,}5^0 C = + 14^0 R.$ als Normaltemperatur an. Das specifische Gewicht der Körper wird gewöhnlich durch Decimalbrüche ausgedrückt. — Tabelle § 121.

118. Über die Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper insbesondere merken wir nur folgende Hauptfälle:

1) Ist der feste Körper im Wasser unauflöslich, so bedient man sich des Wassers unmittelbar, unterscheidet aber zwei Fälle, nämlich:

a) Der feste Körper sinkt im Wasser unter. Sein absolutes Gewicht wird durch Abwägen in der Luft bestimmt, das absolute Gewicht des Wassers von gleichem Volumen dagegen, indem mittelst einer hydrostatischen Wage des festen Körpers Gewichtsverlust im Wasser bestimmt wird. Ist das geschehen, so setzt man nach § 117

$$\text{das spec. G. d. f. K.} = \frac{\text{seinem abs. G.}}{\text{seinen Gv. im W.}}$$

Es sei z. B.

Gew. ein Stückes Zinnober in der Luft . . . . . 8,352 g,
Gew. desselben im Wasser . . . . 7,287 „
also Gewichtsverlust . . . 1,065 „

$$\text{mithin sein sp. Gew.} = \frac{8{,}352}{1{,}065} = 7{,}842 \quad . \; . \; . \; .$$

b) Der feste Körper schwimmt auf dem Wasser. Man bringt ihn zum Sinken, indem man ihn mittelst eines Metallfadens an ein Stückchen Metall bindet oder in eine metallene Klemme befestigt. Man bestimmt sein absolutes Gewicht, dann das des Metalles und des Fadens zusammen, dann dieser beiden Gewichtsverlust im Wasser, und endlich den Gewichtsverlust aller drei mit einander verbundenen Körper.

Der Unterschied zwischen dem Gewichtsverluste aller drei Körper und dem des Metalles und des Fadens zusammen ist der Gewichtsverlust des zu untersuchenden Körpers. Das Übrige ist aus a) bekannt.

Pulverförmige Körper werden in kleinen Uhrschalen gewogen. — Ein Wasser einsaugender Körper, z. B. Sandstein, wird zuerst in der Luft gewogen (z. B. 40g), darauf wird er in Wasser gelegt und wenn er gesättigt ist, wieder in der Luft gewogen (48g), woraus sich ergiebt, wie viel Wasser er aufgenommen hat (8g); hierauf wird das Gewicht des mit Wasser gesättigten Körpers im Wasser bestimmt (31g) und von obigen 48g abgezogen, wodurch man den Gewichtsverlust des gegebenen Körpers (48—31 = 17g) findet und dann sein specifisches Gewicht $\left(\frac{40}{17} = 2,35\right)$.

2) Ist aber der feste Körper in Wasser auflöslich, wie Salz, so nimmt man statt des Wassers eine andere Flüssigkeit, die den festen Körper nicht auflöset, und deren specifisches Gewicht bekannt ist; bestimmt darin den Gewichtsverlust des festen Körpers und berechnet daraus den Gewichtsverlust im Wasser nach dem Satze: Die Gewichtsverluste desselben Körpers in zwei Flüssigkeiten von verschiedenen specifischen Gewichten verhalten sich zu einander, wie die specifischen Gewichte dieser Flüssigkeiten. Das übrige Verfahren bleibt ungeändert. Es sei:

Gewicht eines Stückchens Steinsalz in Luft	10,000 g
„ „ „ „ „ Alkohol	5,959 „
also Gewichtsverlust in Alkohol	4,041 „
specifisches Gewicht des Alkohols	0,866 „

Man setzt nun: $0,866 : 1,000 = 4,041 : x$,

also $x = \frac{4,041}{0,866} = \frac{4041}{866} = 4,666$ = Gv. in W.,

also:

spec. Gew. des Steinsalzes $= \frac{10,000}{4,666} = 2,143$.

119. Das specifische Gewicht flüssiger Körper läßt sich auf zwei Arten bestimmen:

a) Ein Fläschchen mit einem gut eingeriebenen Stöpsel, dessen absolutes Gewicht bekannt ist, wird ein Mal mit Wasser, das andere Mal, nachdem es möglichst gut ausgetrocknet worden, mit der gegebenen Flüssigkeit gefüllt; in beiden Fällen gewogen, und jedes Mal vom ganzen Gewichte das des Fläschchens abgezogen. Man erhält hierdurch die absoluten Gewichte gleicher Volumen von Flüssigkeiten, und das Gewicht der gegebenen Flüssigkeit dividiert durch das des Wassers giebt nach § 117 das gesuchte specifische Gewicht.

Tausendgran-Fläschchen und Fünfhundertgran-Fläschchen vereinfachen sehr das Verfahren.

b) Auch kann man die Gewichtsverluste eines und desselben festen Körpers im Wasser und in der zu untersuchenden Flüssigkeit bestimmen; sie geben die absoluten Gewichte gleicher Volumen beider Flüssigkeiten an, und daher ist das gesuchte specifische Gewicht gleich dem Gewichts-

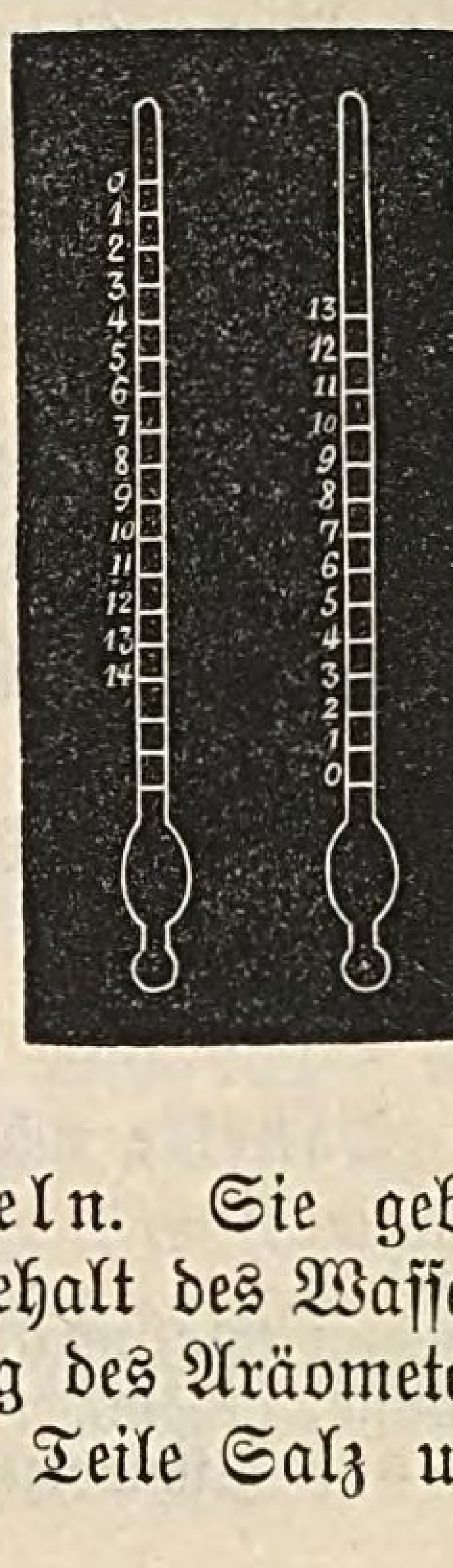
verluste in der gegebenen Flüssigkeit, dividiert durch den Gewichtsverlust im Wasser.

120. Bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes luftförmiger Körper nimmt man einen gläsernen Ballon, der zuerst, nachdem er durch die Luftpumpe möglichst luftleer gemacht worden ist, allein; sodann mit der gegebenen Gasart und endlich mit Wasser gefüllt, genau gewogen wird, im allgemeinen so, wie in § 119 mit dem Fläschchen. Um zuverlässige Bestimmungen zu erhalten, müssen die Gasarten im reinen und von Wasserdampf völlig befreiten Zustande gebraucht und bei der Berechnung muß auf die im Ballon noch zurückgebliebene Luft Rücksicht genommen werden. Nach Arago und Biot ist das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft bei Null Grad Temperatur und einem Barometerstande von 760 mm = 0,0013, so daß also ein Kubikmeter atmosphärischer Luft etwa 1300 g wiegt; gewöhnlich wird aber bei der Angabe des specifischen Gewichtes der Luftarten das der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen, also = 1 gesetzt.

121. Die Aräometer oder Senkwagen sind Instrumente, die man zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper braucht. Sie gründen sich auf den Satz, daß ein schwimmender Körper in einer Flüssigkeit desto tiefer einsinkt, je specifisch leichter diese ist; jedes Mal aber so tief, daß das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich ist dem Gewichte des Körpers. Es giebt deren zwei Hauptklassen, nämlich Aräometer mit Skalen und Aräometer mit Gewichten.

1) Die Aräometer mit Skalen (Figur 41) sind nur bei flüssigen Körpern anwendbar und so eingerichtet, daß sie entweder blos bei Flüssigkeiten, die schwerer, oder blos bei Flüssigkeiten, die leichter als Wasser sind, gebraucht werden. Die der ersten Klasse haben eine herabwärts gehende Skala; im reinen Wasser sinkt das Aräometer fast ganz ein, daher oben der Nullpunkt der Skala, und je schwerer die Flüssigkeit ist, desto weniger tief taucht es ein.

Figur 41.



Bierwagen, Laugenwagen, Solwagen u. s. w.

Die der zweiten Klasse haben eine aufwärts gehende Skala; im reinen Wasser sinkt ein solches Aräometer am wenigsten tief ein, daher unten der Nullpunkt der Skala, und je leichter die Flüssigkeit ist, desto tiefer taucht es ein.

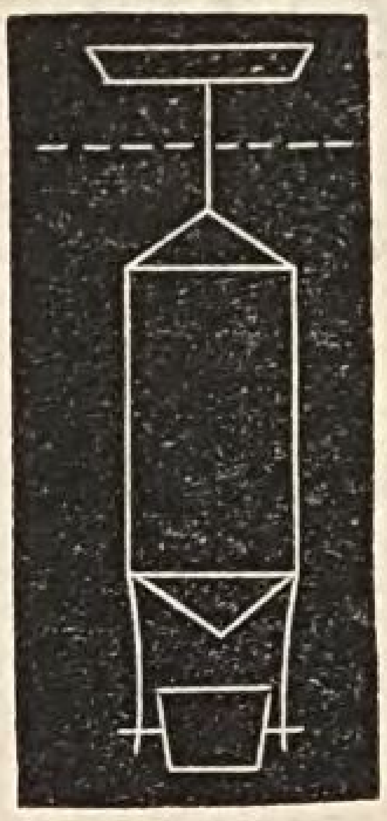
Ölwagen, Branntweinwagen oder Alkoholometer u. s. w.

Unter den Aräometern mit herabwärts gehender Skala sind besonders merkwürdig die Salzspindeln. Sie geben eigentlich nicht das specifische Gewicht, sondern den Gehalt des Wassers an Salz an. Die Skala erhält man durch Eintauchung des Aräometers in Mischungen von Salz und Wasser, z. B. von 1 Teile Salz und

9 Teilen Wasser, von 2 Teilen Salz und 8 Teilen Wasser u. s. w. Auf gleiche Weise verdienen von den Aräometern mit aufwärts gehender Skala herausgehoben zu werden die Alkoholmeter, welche den Gehalt an Weingeist (Alkohol) in einer Mischung von Alkohol und Wasser angeben. Auch hier entsteht die Skala wie bei den Salzspindeln. Diese Mischungen werden teils nach Gewichten, teils nach dem Volumen der Ingredienzien gebildet. Richter's Alkoholometer ist ein Gewichtsprozenten-Aräometer, Tralles' Alkoholometer dagegen ist ein Volumprozenten-Aräometer.

2) Das Nicholson'sche Aräometer (Figur 42) ist ein Gewichtsaräometer und wird gebraucht: a) zur Bestimmung des absoluten Gewichtes kleiner fester Körper; b) zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper; c) zur Bestimmung des specifischen Gewichtes flüssiger Körper, wozu folgende kurze Erläuterungen.

Figur 42.



Zu a. Bringen 100 g das Instrument in die Richte, d. h. zum Einsenken im Wasser bis zu der in dem Drahte, welcher das obere Schälchen mit dem Cylinder verbindet, durch einen Einschnitt bezeichneten Stelle und muß man zu dem auf dem Schälchen liegenden festen Körper 40 g legen, um das Instrument in die Richte zu bringen, so ist das absolute Gewicht des auf das Schälchen gelegten festen Körpers = 100 g — 40 g = 60 g.

Zu b. Man bestimmt des Körpers absolutes Gewicht, wie jetzt gezeigt wurde, durch Abwägung in der Luft, hierauf bestimmt man seinen Gewichtsverlust im Wasser, indem er in das untere Eimerchen gelegt und das Instrument von neuem in die Richte gebracht wird. Das, was man mehr zulegen muß, als wenn der Körper im Schälchen liegt, ist der Gewichtsverlust. Des Körpers absolutes Gewicht, dividiert durch diesen Gewichtsverlust, ist sein specifisches Gewicht.

Zu c. Das Gewicht des Instrumentes plus dem Gewichte, wodurch es in die Richte gebracht wird, ist das absolute Gewicht der Flüssigkeit vom Volumen des Aräometers bis zu dem bezeichneten Punkte. Wird das Instrument, welches etwa 300 g wiegt, im Wasser mit 50 g, in einer anderen leichteren Flüssigkeit mit 40 g in die Richte gebracht, so ist dieser Flüssigkeit specifisches Gewicht $= \frac{300 + 40}{300 + 50} = \frac{340}{350} = \frac{34}{35} = 0,97 \ldots$

Tabelle über das specifische Gewicht einiger oft vorkommenden Körper.

Iridium (platinhaltiges) . .	21,83	Gold, gehämmert	19,36
Platina, gehämmert . . .	21,25	— gegossen	19,253
— geschmolzen . . .	20,855	Quecksilber, gefroren . . .	14,391

Quecksilber bei 0° C	13,619	Eichenkernholz	1,170
„ + 15° „	13,58	Mahagoniholz	1,063
„ + 100° „	13,375	Eis	0,940
Blei	11,445	Pflaumenholz	0,785
Bleiglanz	7,585	Birnbaumholz	0,661
Silber, gehämmert	10,622	Lindenholz	0,604
— gegossen	10,414	Pappelholz	0,383
Kupfer, gehämmert	8,9	Korkholz	0,240
— gegossen	8,7267	Meerwasser	1,02—1,04
Stahl	7,795	Schwefelsäure	1,9546—1,8450
Eisen geschmiedet	7,6	Salpetersäure	1,522
— gegossen	7,5	Salzsäure	1,2109
Zink, gehämmert	7,681	Essigsäure	1,0630
Zink, gegossen	7,213	Baumöl	0,919
Zinn, gehämmert	7,475	Absoluter Alkohol	0,792
— gegossen	7,295	Schwefeläther	0,7155

Nehmen wir das specifische Gewicht der atmosphärischen Luft, nämlich 0,0013 nach § 120, als Einheit an, so ist das

des Sauerstoffgases	1,1026
„ Wasserstoffgases	0,0688
„ Stickstoffgases	0,9706
„ kohlensauren Gases	1,524
„ Wasserdampfes bei + 100° C	0,6235.

Fünfter Abschnitt.

Von den luftförmigen Körpern.

122. Die luftförmigen Körper haben mit den flüssigen die *Schwere*, vermöge welcher sie einen Druck ausüben, und die *leichte Verschiebbarkeit* ihrer Teile, folglich auch die von diesen Eigenschaften abhängenden Erscheinungen gemeinschaftlich; sie zeigen aber außerdem noch einen hohen Grad von *Zusammendrückbarkeit* und *Ausdehnsamkeit*, und dadurch Erscheinungen, die bei jenen nicht vorkommen.

Wären die Teile der Luft nicht leicht verschiebbar, so könnten wir nicht so leicht in ihr gehen. — Eine mit Luft gefüllte gläserne oder metallene Hohlkugel wiegt mehr, als wenn sie mit der Luftpumpe möglichst leer gemacht wird. — Die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn man ein gewöhnliches Bierglas umkehrt und senkrecht zum Teil oder ganz unter Wasser bringt, und dann losläßt, sind Folgen der Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit der im Glase eingeschlossenen Luft — Luftbetten, Luftpolster, Taucherglocke.

Die atmosphärische Luft, hier Luft schlechtweg genannt, ist der Repräsentant der luftförmigen, wie es im vorigen Abschnitte das Wasser in Bezug auf die flüssigen Körper war.

123. Je mehr die Luft zusammengedrückt wird, desto dichter wird sie, und je dichter sie ist, desto ausdehnsamer; es wächst mithin mit der Zusammendrückung sowohl die Dichtigkeit, als auch die Ausdehnsamkeit. *Mariotte* (1676) und *Boyle* (1660) fanden das Gesetz: *Die Dichtigkeiten der Luft stehen im geraden Verhältnisse der zusammendrückenden Kräfte*, oder was dasselbe ist: *Die Räume*

derselben Menge Luft stehen im umgekehrten Verhältnisse der zusammendrückenden Kräfte.

Auch die Wärme ändert die Dichtigkeit und Ausdehnsamkeit der Luft, daher das Mariotte'sche Gesetz nur von Luft von beständiger Temperatur gilt.

124. Verschiedenartige Luftarten, welche chemische Verbindungen nicht eingehen, von verschiedenen specifischen Gewichten, zu einander gethan, ordnen sich, wie Dalton und Berthollet gefunden haben, nicht nach ihren specifischen Gewichten, wie flüssige Körper (§ 114) über einander, sondern es dehnt sich jede für sich aus, als wären die anderen nicht vorhanden, so daß an jeder Stelle alle Luftarten angetroffen werden. Auch fand Graham, daß solche Gase sich selbst durch die Poren fester Körper, durch welche sie getrennt werden, z. B. durch Gipsschichten, mengen: welche Erscheinung die Diffusion der Gase genannt wird; daher entweichen Gasarten durch Gipsstöpsel, so wie durch zersprungene Flaschen. (§ 22.)

In der atmosphärischen Luft sind Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure bis in die höheren Schichten gemischt, obgleich sie verschiedene specifische Gewichte: 1,0; 0,97; 1,52 haben.

125. Die Luft übt, wie die flüssigen Körper, nicht nur einen Druck herabwärts und seitwärts aus, sondern weil die zusammengedrückte Luft mit einer ihrer Dichtigkeit proportionalen Kraft sich auszudehnen strebt, auch aufwärts, mithin nach allen Seiten; es nimmt daher der Druck in der Atmosphäre von oben nach unten und mit ihm die Dichtigkeit der Luft zu, ist in einer horizontalen Schicht beim Zustand der Ruhe überall gleich; es muß auch im Innern von Gebäuden die Luft eben so stark zusammengedrückt, eben so dicht sein und eben so stark nach allen Seiten drücken, als die Luft draußen in derselben Höhe von der Erde. Der von der Luft ausgeübte Druck kann sich aber nur dann durch seine Wirkung sichtbar zeigen, wenn entweder auf der einen Seite eines Gegenstandes die Luft ganz weggeschafft ist, oder wenn auf den entgegengesetzten Seiten desselben sich verschieden dichte Luftmassen befinden. Man sagt auch: Der Druck der Luft muß einseitig, d. h. nur von einer Seite wirken, wenn er bemerkt werden soll.

Auf dem nach allen Richtungen stattfindenden Luftdrucke, so wie auf der Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit der Luft beruhen sehr viele Erscheinungen und physikalische Instrumente, z. B. die Erscheinungen, daß ein volles Glas Wasser, mit einem Blatte Papier bedeckt, umgekehrt werden kann, ohne daß das Wasser ausfließt; daß das Wasser aus Gefäßen mit engen Öffnungen, wie das Bier aus einem Fasse, dessen Spundloch zu ist, wenn auch der Zapfen herausgezogen ist, nicht herausfließt; daß die Luft in jeden leeren oder dünnere Luft enthaltenden Raum, z. B. in den Blasebalg, eindringt; ferner das Atmen, Saugen, Trinken, Rauchen u. s. w. Instrumente, wie: Der Zaubertrichter, der Zauberbrunnen, der Stechbecher, die Pipette, der Heber, der Vexierbecher, das Barometer, die Saugpumpe, die Kompressionspumpe, die Windbüchse, das Blaserohr, der Heronsball, der Heronsbrunnen, die Feuerspritzen, das Kartesianische Teufelchen, die Luftpumpe

u. s. w. Von diesen Instrumenten werden hier nur die wichtigsten, die zugleich die meiste Belehrung gewähren, herausgehoben.

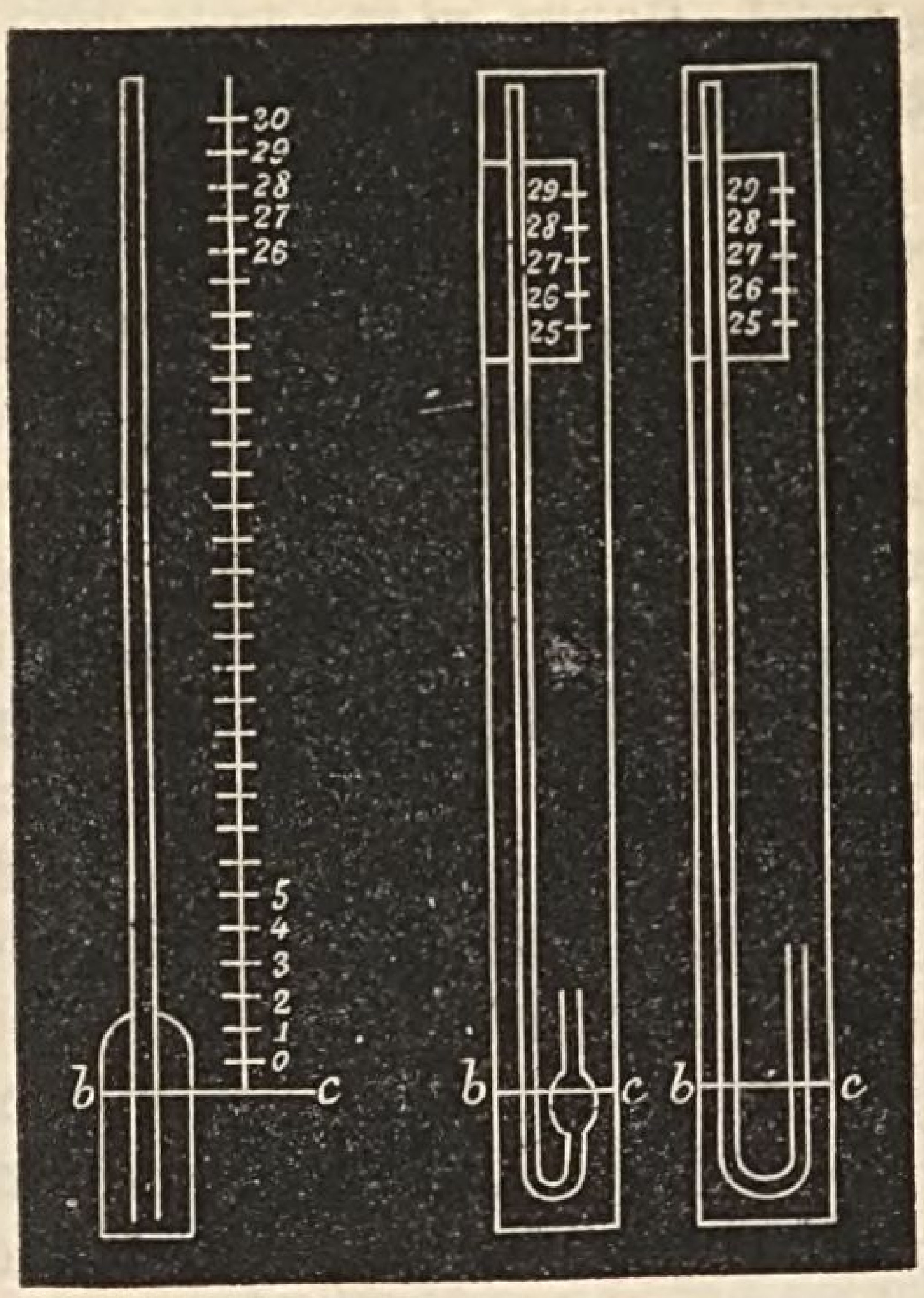
126. Der Toricelli'sche Versuch. Wird eine etwa 80 Centimeter lange, nur an einem Ende geschlossene Röhre mit Quecksilber vollgefüllt, hierauf das offene Ende mit einem Finger geschlossen, die Röhre umgekehrt, und nun mit dem offenen Ende senkrecht in Quecksilber, welches sich in einem Gefäße befindet, getaucht, und endlich der Finger unter der Quecksilberoberfläche weggezogen, so sieht man das Quecksilber in der Röhre nur um etwa 40 mm sinken, so daß es noch die Höhe von 760 mm behält. Der von der Luft auf das Quecksilber im Gefäße ausgeübte und von diesem auf das Quecksilber in der Röhre fortgepflanzte Druck ist es, der die Quecksilbersäule herabzufließen, was vermöge ihrer Schwere geschehen sollte, hindert, und sie also trägt. Wird das geschlossene Ende geöffnet, so fällt das Quecksilber völlig herab; denn der von dem Quecksilber im Gefäße auf das Quecksilber in der Röhre heraufwärts fortgepflanzte Luftdruck und der Luftdruck auf das Quecksilber in der Röhre herabwärts heben sich nun auf, und das Quecksilber folgt der Schwere allein. Wird bei diesem Versuche, wie es auch geschehen ist, Wasser genommen, so erreicht es durch den Luftdruck eine Höhe von 10,3 m. Da nämlich das Wasser etwa $13^1/_2$ Mal specifisch leichter als Quecksilber ist, so kann auch der Luftdruck eine Wassersäule die $13^1/_2$ Mal so hoch ist, als die Quecksilbersäule, tragen.

Daß eine Luftsäule von der Höhe der ganzen Atmosphäre, eine Wassersäule von etwa 10,3 m und eine Quecksilbersäule von etwa 760 mm einander das Gleichgewicht halten, ist eine Folge des Gesetzes über kommunizierende Röhren (§ 107), indem man sich den kürzern offenen Schenkel bis zur Grenze der Atmosphäre verlängert denkt. Bis zum Jahre 1643, wo Evangelista Toricelli, ein Schüler des berühmten Galilei, diesen Versuch machte, war der Druck der Luft unbekannt. — Toricelli'sche Röhre, Toricelli'sche Leere, vacuum Toricellianum. Der Raum über dem Quecksilber in der längern Röhre muß vollkommen luftleer sein.

127. 1) Das Barometer. Wenn dem beim Toricelli'schen Versuche gebrauchten Apparate eine solche Einrichtung gegeben wird, daß das Gefäß klein ist, die Röhre daran senkrecht befestigt und mit einer Skala, d. i. mit einer Einteilung nach Pariser Linien, jetzt in Millimeter zur Messung der Höhe der Quecksilbersäule versehen ist, so erhält man das sogenannte Barometer. Es stellt gleichsam zwei kommunizierende Röhren dar, die mit verschiedenen Flüssigkeiten, Luft und Quecksilber, gefüllt sind. Die einzige Bestimmung des Barometers ist, den Druck oder das Gewicht der über demselben sich befindenden Luftsäule zu messen. Daß es hierzu brauchbar ist, folgt schon im allgemeinen aus der Überzeugung, daß nur der Druck der Luft es ist, durch welchen die Quecksilbersäule im Toricelli'schen Versuche gehalten wird, und daß also bei vermehrtem Drucke das Quecksilber steigen, bei vermindertem dagegen fallen müsse.

Man hat zwei Hauptarten von Barometern, nämlich Gefäßbarometer (Kapselbarometer, Flaschenbarometer, Birnbarometer) und Heberbarometer. Das vorhin erwähnte ist ein Gefäßbarometer.

Figur 43.



Das Heberbarometer ist eine so gekrümmte Röhre von möglichst überall gleicher Weite, daß die beiden Teile, wovon der eine lang (etwa 80 Centimeter), der andere aber bedeutend kürzer ist, einander parallel laufen. Der längere ist oben zugeschmolzen, der kürzere aber offen, damit die Atmosphäre auf das Quecksilber ihren Druck ausüben könne (Figur 43).

Barometerhöhe oder Barometerstand bezeichnet die Höhe der von der Luft getragenen Quecksilbersäule, also beim Gefäßbarometer die Höhe der Quecksilbersäule in der Röhre, von der Quecksilberoberfläche im Gefäß an gerechnet; im Heberbarometer dagegen die Höhe der Quecksilbersäule in dem längeren Schenkel, von der Stelle (b) an gerechnet, welche mit der Quecksilberoberfläche im kürzeren Schenkel gleich hoch liegt, denn hier hält die Quecksilbersäule im kürzeren Schenkel einer eben so hohen im längeren das Gleichgewicht (§ 107), und nur was darüber ist, wird vom Drucke der Luft getragen. Man könnte mithin auch allgemein sagen: Barometerhöhe ist die senkrechte Entfernung der beiden Quecksilberoberflächen von einander, oder Barometerhöhe ist der Höhenunterschied der beiden Quecksilberoberflächen: genauer gesagt, der höchsten Punkte der beiden konvexen Quecksilberoberflächen.

Der höchste Punkt der unteren Quecksilberoberfläche ist der Punkt, von dem an die Barometerhöhe gerechnet wird; er ist der Nullpunkt der Skala, die sich zur Seite gewöhnlich auf einem Metallstreifen aufgetragen befindet. Das zur Füllung des Barometers verwendete Quecksilber muß möglichst rein sein.

Der Luftdruck, den irgend eine Ebene zu tragen hat, ist gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule, deren Grundfläche diese Ebene und deren Höhe dem jedesmaligen Barometerstande gleich ist. Ist die Ebene 1 qm groß, die Barometerhöhe 760 mm, so ist der Luftdruck auf einen Quadratmeter 10300 kg, und auf den menschlichen Körper (dessen Oberfläche zu 1,4 Quadratmeter angenommen 14500 kg, welchem ein eben so großer Gegendruck durch die Luft im Innern des Körpers entgegenwirkt, was die Zusammendrückung des Körpers verhindert.

Das Heberbarometer wird dem Gefäßbarometer vorgezogen, wiewohl es wegen der großen Reibung des Quecksilbers an dem unteren, gekrümmten Teile weniger empfindlich ist. Der Grund davon liegt darin, daß die abgelesene Barometerhöhe beim Gefäßbarometer einer Korrektion bedarf, um richtig zu sein, was beim Heberbarometer nicht nötig ist. Im Gefäßbarometer wird nämlich der Stand des Quecksilbers im Gefäße, weil dessen Durchmesser den der Röhre bedeutend übertrifft, also mit dem Steigen und Fallen in der Röhre nur ein

sehr geringes Fallen und Steigen im Gefäße verbunden ist, gewöhnlich als unveränderlich angenommen, wodurch (wenn nicht etwa eine bewegliche Skala angebracht ist, mittelst welcher der Nullpunkt immer genau auf die Quecksilberoberfläche im Gefäße gebracht werden kann) die hohen Barometerstände zu niedrig und die niedrigen zu hoch angegeben werden. Dieser Fehler fällt beim Heberbarometer ganz weg; denn sinkt oder steigt das Quecksilber im kürzeren Schenkel um 1 mm, so steigt oder sinkt es dadurch im längeren auch um 1 mm, und die Barometerhöhe hat sich um 2 mm geändert. Zweitens wirkt die Kapillar-Attraktion beim Gefäßbarometer, da das Gefäß und die Röhre verschiedene Durchmesser haben, auch verschieden stark; während beim Heberbarometer wegen ihrer gleich starken Wirkung in den beiden Röhren, die entweder durchgängig oder wenigstens da, wo die Bewegungen sichtbar werden, gleiche Weiten haben, dieser Fehler nicht vorkommen kann. — Die Heberbarometer sind so eingerichtet, daß entweder das Rohr fest und die Skala dabei beweglich, oder umgekehrt, die Skala fest und das Rohr beweglich ist. So oft die Barometerhöhe abgelesen werden soll, muß bei jenem, damit der Nullpunkt der Skala mit dem höchsten Punkte der konvexen Quecksilberoberfläche im kürzeren Schenkel in dieselbe Horizontalebene gebracht werde, die Skala, bei diesem dagegen das Rohr selbst hinauf oder herunter bewegt werden. Oder wenn Rohr und Skala fest bleiben, werden die Millimeter von einem Punkte aus nach oben und unten abgelesen; sie geben addiert die Länge der Quecksilbersäule.

Durch welche Vorrichtungen werden diese Bewegungen bewirkt? Vor dem Ablesen der Barometerhöhe muß jedesmal das Barometer ein wenig geschüttelt werden, um das Adhärieren des Quecksilbers an die inneren Wände der Röhre aufzuheben. — Tragbare Barometer, Reisebarometer. — Das Bourdon'sche Aneroid-Barometer besteht aus einer dünnwandigen, elastischen, kreisförmig gebogenen Röhre, welche möglichst luftleer gemacht wird und deren Enden sich einander nähern. Durch vermehrten Luftdruck krümmt sich die Röhre stärker; die beiden Enden nähern sich mehr und setzen dadurch einen Zeiger in Bewegung. Dieser beschreibt in der Peripherie des Kreises einen Bogen, auf welchem — durch Vergleichung mit einem Heberbarometer — die 24 bis 28 Zoll oder die entsprechenden Millimeter aufgetragen werden. Bei vermindertem Luftdruck entfernen sich die freien Enden von einander und setzen den Zeiger in entgegengesetzter Richtung in Bewegung. Wenn auch die Änderungen des Luftdrucks durch dies Instrument nicht ganz genau angegeben werden, so empfiehlt es sich dagegen dadurch, daß es in eine Kapsel eingeschlossen, nicht zerbrechlich und leicht transportabel ist.

2) Die Hauptanwendung findet das Barometer bei Höhenmessungen, d. h. bei der Bestimmung der Höhen der Berge, so wie überhaupt der Erhebung eines jeden Ortes über die Meeresfläche. Das Barometer steigt bei vermehrtem und sinkt bei vermindertem Luftdrucke; auf dem Berge drückt eine kürzere Luftsäule, als im Thale, da wir dort eine Luftsäule von der Höhe des Berges unter uns haben, die nicht mehr wirken kann, und außerdem nimmt die Dichtigkeit der Luft mit der Höhe ab; es muß daher dort das Barometer niedriger stehen, als hier; so wie es auf Bergen von verschiedenen Höhen auch verschieden hoch stehen muß, doch so, daß es auf dem höchsten Berge am niedrigsten, auf dem niedrigsten Berge am höchsten steht. Daß also das Barometer

zu Höhenmessungen gebraucht werden kann, geht hieraus klar hervor, so wie das auch die Erfahrung zeigt, denn:

auf dem	Chimborasso	steht es bei	6308 m	Höhe auf	342 mm
—	Montblanc	— —	4600 m	— —	434 mm
—	Ätna	— —	3233 m	— —	515 mm
—	St. Gotthard	— —	2385 m	— —	570 mm
—	Brocken	— —	1146 m	— —	665 mm
an der	Meeresfläche etwas über	. . . .			760 mm

Da nun im Niveau des Meeres der Luftdruck auf einen Quadratmeter 10300 kg beträgt, so ist auf dem Gipfel des Chimborasso dieser atmosphärische Druck auf 1 qm nur 4600 kg.

Hätte die Luft in allen Höhen gleiche Dichtigkeit, so wäre es ein sehr leichtes Geschäft, Höhen, bis zu denen wir uns erheben, mittelst des Barometers zu messen; denn müßten wir uns, wie das bei der Temperatur Null und bei trockener Luft ungefähr der Fall ist, zuerst über die Oberfläche der Erde 21 m erheben, damit das Quecksilber um 2 mm falle, so würden wir uns 5 . 21 m = 105 m erhoben haben, wenn das Barometer um 10 mm gefallen wäre u. s. w. Da aber (§ 125) die Dichtigkeit der Atmosphäre von unten nach oben abnimmt, so müssen die Luftsäulen, die einer Quecksilbersäule von 2 mm das Gleichgewicht halten, immer höher und höher werden, je mehr wir uns über die Erde erheben; so muß man sich z. B. in der Höhe, wo das Barometer auf 549 mm steht, schon 34 m, und in der Höhe, wo es auf 346 mm steht, gar schon 46 m erheben, damit das Quecksilber um 2 mm falle. Die hierdurch entstehende Schwierigkeit würde sich zwar durch das Mariotte'sche Gesetz beseitigen lassen, wenn die Temperatur des Quecksilbers und der Luft, ferner die Erdschwere und der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre unverändert dieselben blieben, und bei den Gefäßbarometern außerdem noch die Haarröhrchen-Anziehung in dem Gefäße und in der Röhre gleich stark wirkte. Steht nämlich das Barometer bei der Höhe von Null Meter auf 760 mm, und muß man sich 21 Meter erheben, damit es um 2 mm, also auf 758 mm herabsinke, so ist nach jenem Gesetze leicht zu finden, wie viele Meter man sich erheben müßte, damit das Barometer um 2 mm, also auf 756 mm herabsinke. Die Menge Luft, welche einer Quecksilbersäule von 2 mm das Gleichgewicht hält, ist nämlich immer dieselbe, nur in verschiedenen Räumen, und da diese sich wie umgekehrt die Druckkräfte, welche durch die Barometerhöhen angegeben werden, verhalten, so steht für die zweite, dritte 2c. 2c. Luftsäule, welche einer Quecksilbersäule von 2 mm das Gleichgewicht hält:

$$760 : 758 = x : 21\,\text{m}; \text{ also } x = 21{,}055,$$
$$760 : 756 = y : 21 \quad ; \text{ also } y = 21{,}114.$$
$$\overline{758 : 756 = y : x \quad ; \text{ also } y = 21{,}114,}$$

so daß, wenn das Barometer um 4 mm gesunken ist, man nicht um 2 . 21 = 42 m gestiegen ist; sondern um 21 + 21,055 = 42,055 m. Ist aber das Barometer um 6 mm gesunken, so befindet man sich nicht um 3 . 21 oder 63 m höher, sondern um 21 + 21,055 + 21,114 oder

63,169 m höher: eine Differenz, welche bei einem um 52 mm höhern Barometerstand schon mehr als 12 m beträgt.

Hiernach könnte man folgende Zusammenstellung entwerfen:

760 mm	Barometerstand	giebt	die	Höhe	0
758 mm	—	—	—	—	21 m
756 mm	—	—	—	—	42,055 m
754 mm	—	—	—	—	63,169 m
752 mm	—	—	—	—	84,432 m u. s. w.

Wenn man dagegen um gleiche Höhen in der Atmosphäre emporsteigt, so bilden die Barometerstände eine geometrische Reihe, während die entsprechenden Höhen eine arithmetische Reihe bilden.

Bei genauen barometrischen Höhenmessungen müssen mit in Rechnung gezogen werden: Der Einfluß der Wärme auf das specifische Gewicht der Luft selbst und des Quecksilbers sowie auf die Länge der Skala; der Feuchtigkeitsgehalt der Luft; selbst die Verschiedenheiten in der Größe der Schwerkraft unter verschiedenen Breitengraden und bei verschiedenen Höhen über der Meeresfläche, da dieser Einfluß wegen der Expansion der Luft auf dieselbe ein anderer wird, als auf das Quecksilber. Da der Barometerstand in steter Änderung begriffen ist, so müssen die beiden Beobachtungen, welche den Höhenunterschied zweier entfernter Punkte bestimmen sollen, gleichzeitig, oder wenigstens in sehr kurzen Zeitabständen erfolgen.

Die erste Barometermessung machte den 19. September 1648 Perrier auf Paskal's Veranlassung zu Clermont in der Auvergne auf dem 1425 m hohen Berge Puy de Dome.

3) Es finden auch Veränderungen im Barometerstande an einem und demselben Orte statt, und der Regel nach desto bedeutendere, je tiefer und je näher den Polen der Ort liegt; am Äquator und auf hohen Bergen sind sie unbedeutend. In Peru beträgt der Spielraum nur einige Millimeter, in Neapel etwa 26 mm, in Deutschland 52—78 mm, in Petersburg über 78 mm. Der Zusammenhang der Barometerschwankungen mit den Veränderungen der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre ist unverkennbar; mit der höheren geographischen Breite nimmt die Veränderlichkeit der Temperatur und des Barometerstandes zu.

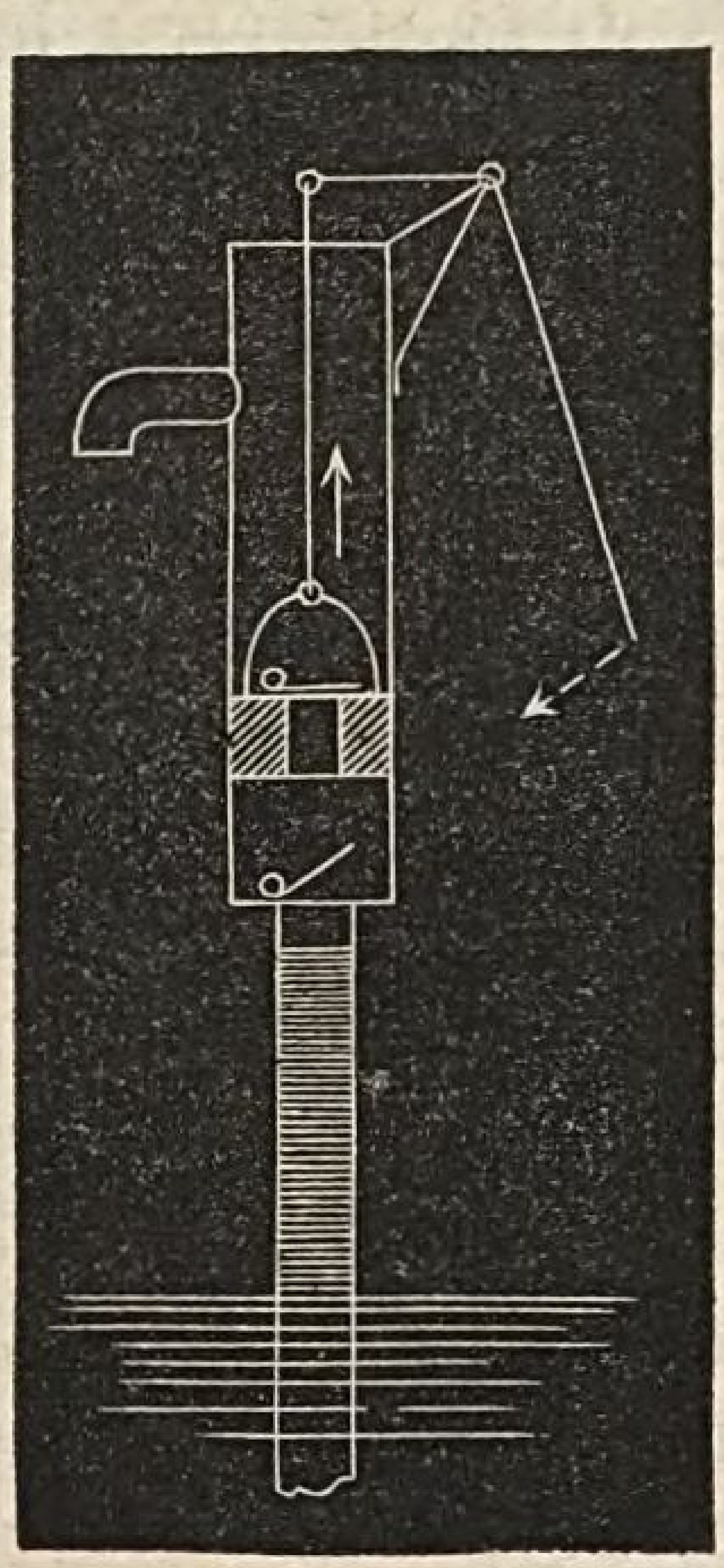
Sehr merkwürdig sind am Äquator die täglichen, regelmäßig wiederkehrenden Änderungen im Barometerstande. Diese täglichen Oscillationen des Barometers, welche ohne Zweifel eine Folge des durch Erwärmung und Feuchtigkeit veränderten Luftdrucks sind, erfolgen so: Von 4½ Uhr N.M. bis 10 Uhr Abends steigt das Barometer um 1,2 mm, — von 10 Uhr Abends bis 3½ Uhr Morgens fällt das Barometer um 1,5 mm, — von 3½ Uhr M. bis zwischen 9 und 10 Uhr M. steigt das Barometer um 0,65 mm, — von 10 Uhr M. bis gegen 4½ Uhr N.M. fällt es um 2 mm, um welche es um 10 Uhr M. höher stand, als des Tages vorher um 4½ Uhr N.M. Die Minima des Barometerstandes fallen also etwa um 4 Uhr Morgens und des Nachmittags, und die Maxima um 10 Uhr des Morgens und des Abends; der mittlere Stand des ganzen Tages tritt um 12¾ ein. Auch bei uns in den gemäßigten Zonen finden ungefähr in denselben Tagesstunden solche Minima und Maxima in den täglichen Schwankungen des Barometers statt, welche sich durch Jahre lang fortgesetzte tägliche Beobachtungen ergeben; doch nach den Jahreszeiten früher oder später,

z. B. das Nachmittags-Minimum im Winter um 2 Uhr 48 Minuten, im Sommer um 5 Uhr 8 Minuten, das Abend-Maximum im Winter um 9 Uhr 30 Minuten, im Sommer um 10 Uhr 54 Minuten. Außer diesen täglichen periodischen Schwankungen des Barometers hat man auch jährliche periodische beobachtet; so sinkt in der nördlichen Hälfte der Erde das Barometer vom Januar, erreicht im April ein Minimum, steigt langsam bis September, fällt wieder bis November, wo es zum zweiten Mal das Minimum erreicht.

Mittlere Barometerhöhe, mittelst deren die Höhe eines Ortes über dem Meere bestimmt wird. — Der mittlere Barometerstand an der Meeresfläche ist nach der geographischen Breite und nach Erman auch nach der Länge verschieden. Nach Maury beträgt er: am Äquator 760,3 mm; unter 30° n. Br. 766,9 mm; 50° n. Br. 762,4 mm; 70° n. Br. 757,3 mm.

Das Barometer ist ein sehr unsicherer Wetterprophet; doch ist der Einfluß der Winde auf den Barometerstand unleugbar. Bei nordöstlichen Winden, die uns kältere, schwerere Luft zuführen, steht das Barometer durchschnittlich am höchsten; bei südwestlichen dagegen, die uns wärmere Luft bringen, am niedrigsten. Die Nordostwinde sind trocken, die Südwestwinde aber, welche von wärmeren Meeren kommen, sind an Wasserdampf reich, welcher sich in unseren kälteren Gegenden (§ 192) in Regen verwandelt und, weil er dadurch auf das Barometer zu wirken aufhört, ein Sinken desselben veranlaßt. Hiernach bringen Südwestwinde bei uns meist einen niedern Barometerstand und Regen, die Nordostwinde aber hohen Barometerstand und heiteren Himmel; worauf sich die bei uns, wo die wärmeren Winde zugleich regenbringende sind, meist zutreffende Regel, daß niederer Barometerstand schlechtes, hoher dagegen gutes Wetter anzeige, gründet. Kommt der Wind aus West, so geht er, wenn es schön werden soll, gewöhnlich durch Nord nach Ost; kommt er aus Ost, so geht er, wenn Regen folgen soll, durch Süden nach Westen, so daß auf den feuchten Westwind der kalte Nordwind, auf diesen der trockene Ostwind und auf diesen der nässende Südwind folgt. Wenn daher bei Westwinden das Barometer zu steigen anfängt, so erwarten wir schönes, und wenn es bei Ostwinden zu sinken anfängt, schlechtes Wetter. Das Seebarometer kündet durch plötzliches Fallen mit Sicherheit einen Sturm an.

Figur 44.

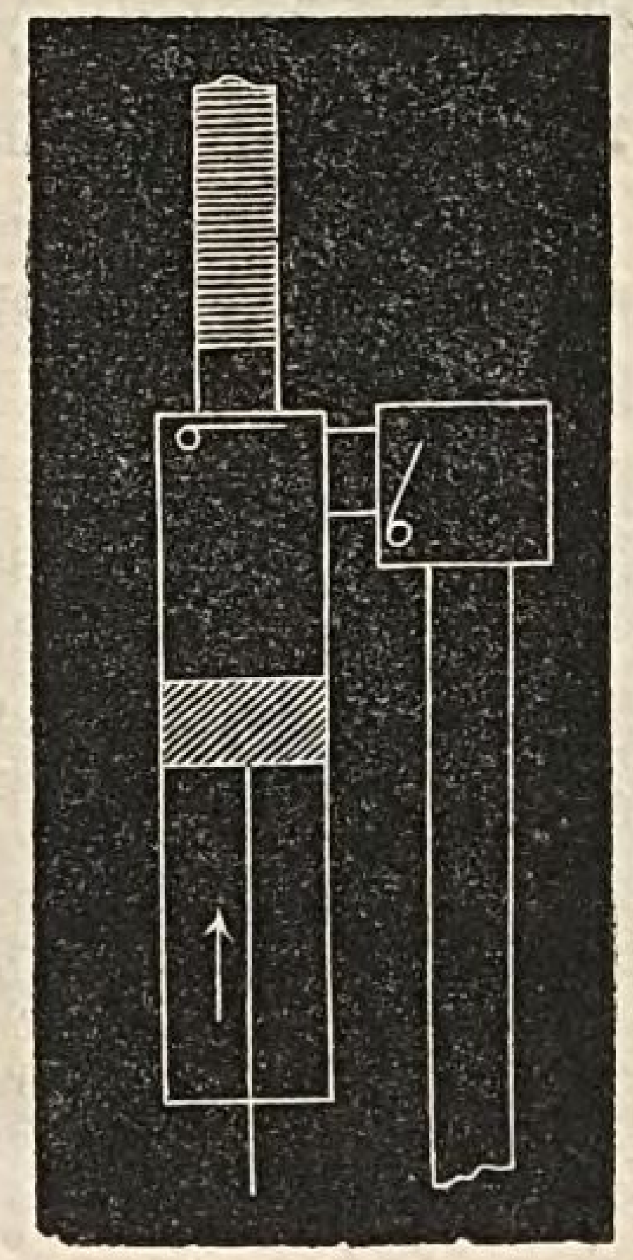


128. 1) Die **Wasserpumpen** sind Maschinen, mittelst welcher gewöhnlich Wasser aus der Tiefe über die Oberfläche der Erde gehoben wird, oft aber auch aus einem Flusse oder irgend einem Behältnisse nach einem höher gelegenen Orte. Sie sind **Saugwerke** oder **Druckwerke**; nur die ersteren gehören, streng genommen, hierher, da nur in ihnen das Wasser durch den Druck der Luft in die Höhe gehoben wird. Eine

Saugpumpe besteht aus dem Saugrohre (Figur 44), welches unter der Oberfläche der Erde ins Wasser reicht, und dem Pumpenstiefel, in welchem ein dicht anschließender Kolben herauf und herunter bewegt werden kann, über welchem ein Ausgußrohr sich befindet. Außerdem kommen zwei Ventile, ein Bodenventil und ein Kolbenventil vor, welche sich beide nach oben öffnen. Wird nun der Kolben herauf und hinunter bewegt, so kommt nach einiger Zeit Wasser zum Ausgußrohre heraus. Die Erklärung ist folgende: Befindet sich der Kolben auf dem Boden und zieht man ihn herauf, so entsteht im Stiefel zwischen dem Kolben und Bodenventil ein luftleerer Raum, die Luft im Saugrohr öffnet daher das Bodenventil, tritt in den Stiefel und bringt so im Saugrohre eine Luftverdünnung hervor. Das Wasser im Saugrohre aber wird nun durch das Übergewicht der äußeren, das Saugrohr umgebenden Luft über die innere verdünnte um etwas gehoben; das Kolbenventil muß dabei geschlossen bleiben, da die äußere über ihm sich befindende Luft dichter, als die innere ist, mithin stärker herab- als diese heraufdrückt. Drückt man hierauf den Kolben hinunter, so wird die Luft im Stiefel immer mehr verdichtet und erhält dadurch eine so große Kraft, daß sie durch ihren Druck nach unten das Bodenventil schließt, durch ihren Druck nach oben aber das Kolbenventil öffnet und dadurch einen Ausgang nach außen erhält. Beim jedesmaligen Heraufgehen des Kolbens steigt das Wasser im Saugrohre höher, tritt endlich über das Bodenventil und auch, wenn der Kolben hinlänglich tief heruntergedrückt wird, über das Kolbenventil, verschließt sich hierauf selbst durch sein eigenes Gewicht den Weg rückwärts, und kann nun bis zum Ausgußrohre gehoben werden.

Reines Wasser kann durch den Druck der Luft, wenn alle Teile der Saugpumpe aufs genaueste gearbeitet sind, höchstens 10 m gehoben werden (§ 126). Salzwasser weniger hoch, warum? Der Druck der Luft hebt das Wasser nur bis an den Kolben, von da bis zum Ausgußrohre wird es durch mechanische, vom Drucke der Luft unabhängige Kräfte gehoben. — Saugpumpen mit niederem und mit hohem Satze — Repetierende Saugwerke — Atmen, Saugen, Trinken, Rauchen — horror vacui, Abscheu vor dem leeren Raume — Erklärung der verschiedenen Arten von Ventilen.

Figur 45.



2) Bei einem Druckwerke wird von dem Drucke der Luft nur sehr wenig Gebrauch gemacht. Das Saugrohr ist sehr kurz, der Kolben hat kein Ventil, dagegen giebt es ein Bodenventil und ein Seitenventil in dem Verbindungsrohre des Stiefels mit dem Steigrohre, in welchem das Wasser hinaufgetrieben wird (Figur 45). Wird der Kolben herauf und herunter bewegt, so füllt sich das Steigrohr immer höher und höher mit Wasser. Zieht man nämlich den am Boden sich befindenden Kolben in die Höhe, so treibt die äußere Luft durch das Bodenventil das Wasser in den im Stiefel entstandenen luftleeren Raum; der hierauf heruntergehende Kolben schließt das Bodenventil und treibt das Wasser durch

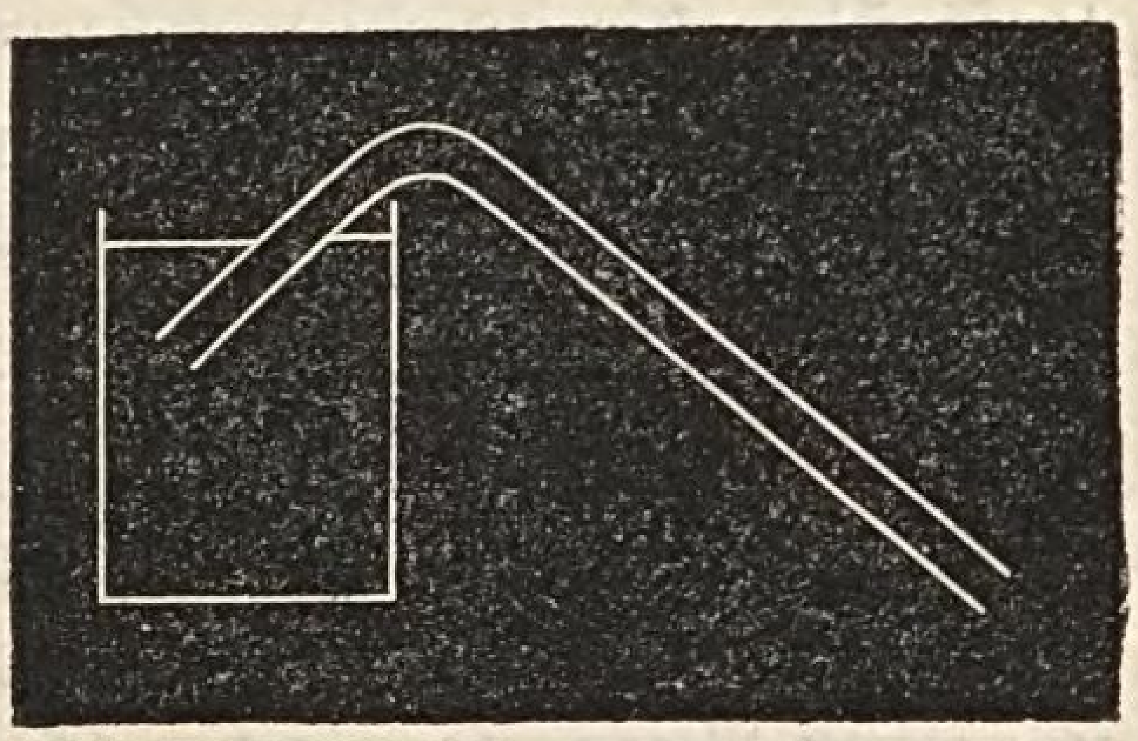
das Seitenventil in das Steigrohr. Bei fortgesetzter Kolbenbewegung kann das Wasser im Steigrohre, wenn eine hinlänglich große mechanische Kraft vorhanden ist, zu jeder beliebigen Höhe gehoben werden.

Vereinigte Saug- und Druckwerke.

129. Der Heber (sipho), auch Saugheber genannt, zum Unterschiede von dem gewöhnlichen Stechheber, ist eine gebogene, gewöhnlich aus zwei ungleich langen Schenkeln bestehende Röhre, die an beiden Enden offen ist. Die Schenkel sind häufig geradlinig und stoßen unter einem Winkel zusammen.

Steckt man das kürzere Ende in ein mit Wasser gefülltes Gefäß (Figur 46), so daß die Ausflußöffnung, d. i. das Ende des längeren Schenkels, tiefer liegt, als der Wasserspiegel, saugt hierauf die Luft an der Ausflußöffnung aus so lange, bis das Wasser dieselbe erreicht hat, so fließt es so lange von selbst fort, als das Ende des kürzeren Schenkels noch im Wasser ist. — Daß das Wasser, sobald beide Schenkel davon voll sind, fortfließt, was hier allein zu erklären ist, ist Folge des ungleichen Druckes, mit welchem es in den beiden Schenkeln heraufgedrückt wird.

Figur 46.



In beiden Schenkeln wird das Wasser von der Atmosphäre gleich stark heraufgedrückt (denn daß der längere tiefer heruntergeht, kann hier als ohne Einfluß betrachtet werden), im kürzeren mittelbar durch das Wasser im Gefäße, im längeren aber unmittelbar; diesem Luftdruck nach oben wirkt in den Schenkeln das Gewicht des sich darin befindenden Wassers entgegen. Da dieser Gegendruck im kürzeren Schenkel, weil er weniger Wasser als der längere enthält, geringer ist, als im längeren, so bleibt von dem Luftdrucke nach oben im kürzeren Schenkel mehr übrig, als im längeren; dieser größeren Kraft, vom kürzeren nach dem längeren hin, folgend, muß daher das Wasser aus dem längeren Schenkel herausfließen, natürlich so lange, als der kürzere noch im Wasser ist, und dabei der Wasserspiegel höher liegt, als die Ausflußöffnung; da so lange die das Ausfließen bewirkenden Umstände ungeändert bleiben.

Da nur derjenige Teil des kürzeren Schenkels in Betracht kommt, welcher über dem Wasserspiegel ist, so können die beiden Schenkel des Hebers auch gleich lang sein. Statt den Heber durch Saugen zu füllen, kann man ihn auch auf gewöhnliche Weise füllen, beide Enden fest zuhalten, den kürzeren unter Wasser bringen, darauf diesen zuerst und dann den längeren öffnen.

Entleerung der Fässer durch das Spundloch. — Wenn in einem Gefäße Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewichte sind, so lassen sich mittelst eines Hebers die unteren ausfüllen, ohne daß vorher die oberen weggeschafft worden sind.

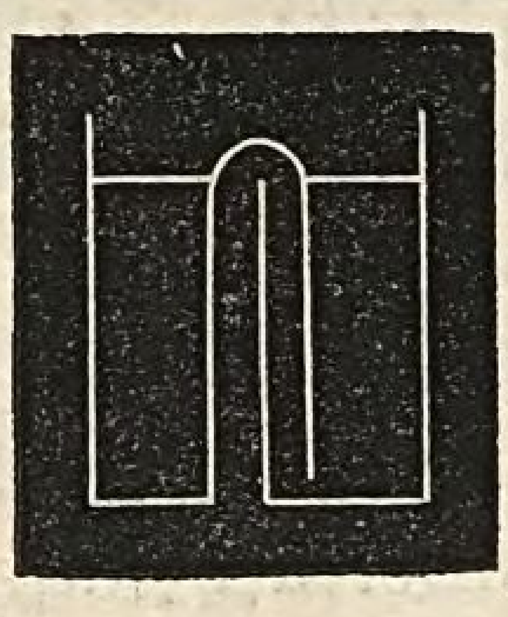
Leitung des Wassers über Anhöhen, die aber welche Höhen nicht übersteigen dürfen? — Der Kanal von Languedoc (canal du midi). Unter den hierher gehörenden Spielereien ist besonders beachtungswert der Vexierbecher (diabetes Heronis), weil darauf wahrscheinlich die merkwürdige Eigentümlichkeit mancher

Brunnen, bei Regenwetter trocken zu werden, und die des Zirknitzer Sees in Krain beruht (Figur 47).

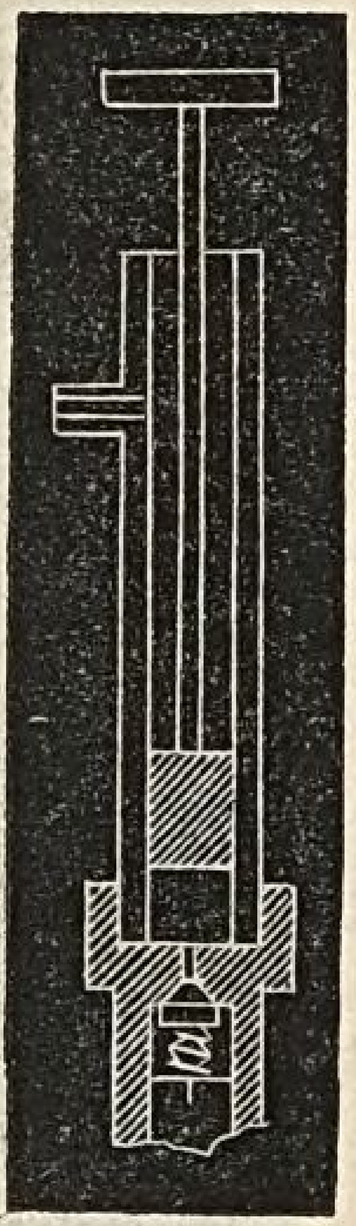
Heber mit Saugröhren, Heberspringbrunnen.

130. Die **Kompressionspumpe** (Figur 48) hat die Bestimmung, in einen abgeschlossenen Raum immer mehr und mehr Luft zu bringen, und dadurch die eingeschlossene Luft zu verdichten. Sie besteht aus einem hohlen Cylinder, dem **Stiefel**, und einem genau anschließenden **Kolben**, der mittelst einer Kolbenstange herauf und herunter bewegt werden kann. Der Stiefel hat an dem einen Ende, welches genau in die Öffnung des Gefäßes, in welchem die Luft verdichtet werden soll, paßt, ein nach außen sich öffnendes Ventil, ein Bodenventil, und nicht fern vom anderen Ende eine kleine Seitenöffnung. Statt dieser Seitenöffnung kann auch ein zweites, aber nach innen sich öffnendes Ventil, ein Seitenventil, in der Nähe des Bodenventils angebracht werden. — Wenn das Ventilende der Pumpe in die Öffnung des Gefäßes eingepaßt ist, hat man, um die Verdichtung zu bewirken, nichts weiter zu thun, als zu wiederholten Malen den Kolben in dem einen Falle bis über die Seitenöffnung, in dem andern überhaupt bis an das Ende des Stiefels zu ziehen und darauf bis zu dem Bodenventil herabzudrücken. — Zieht man den Kolben vom Bodenventil bis an die Seitenöffnung, so hat man im Stiefel einen luftleeren Raum; zieht man den Kolben über diese Öffnung hinweg, so dringt durch diese die äußere Luft in den luftleeren Raum, der hierauf heruntergedrückte Kolben verdichtet im Stiefel die Luft, welche sich das Bodenventil öffnet, in das Gefäß tritt und dort angekommen sich selbst den Ausgang verschließt u. s. w. Bei der andern Art tritt durch das Seitenventil bei der Entfernung des Kolbens vom Bodenventil Luft in den Stiefel, und die durch die entgegengesetzte Bewegung des Kolbens verdichtete Luft schließt das Seitenventil, während sie das Bodenventil öffnet u. s. w.

Figur 47.



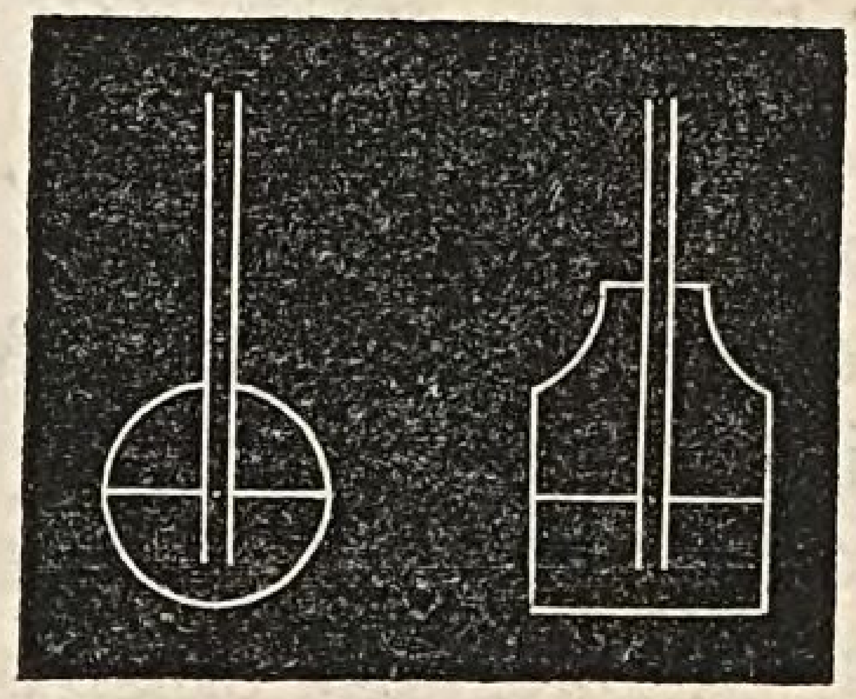
Figur 48.



Anwendung der Verdichtungspumpe bei der Windbüchse, ferner um die ins Meer herabgelassene Taucherglocke durch einen Schlauch vom Schiffe her mit frischer Luft zu versehen, so wie um manche Gasarten in Flüssigkeiten zu kondensieren.

131. Der **Heronsball** (Figur 49) ist ein Gefäß (eine Kugel, eine Flasche u. s. w.), durch dessen luftdicht verschlossenen Hals eine außerhalb hervorragende und innerhalb fast bis an den Boden reichende enge Röhre geht. Er hat den Zweck, die verdichtete Luft als bewegende Kraft zu zeigen. — Wird das Gefäß mit Wasser so weit gefüllt, daß das Ende der Röhre darin zu stehen kommt, und wird

Figur 49.

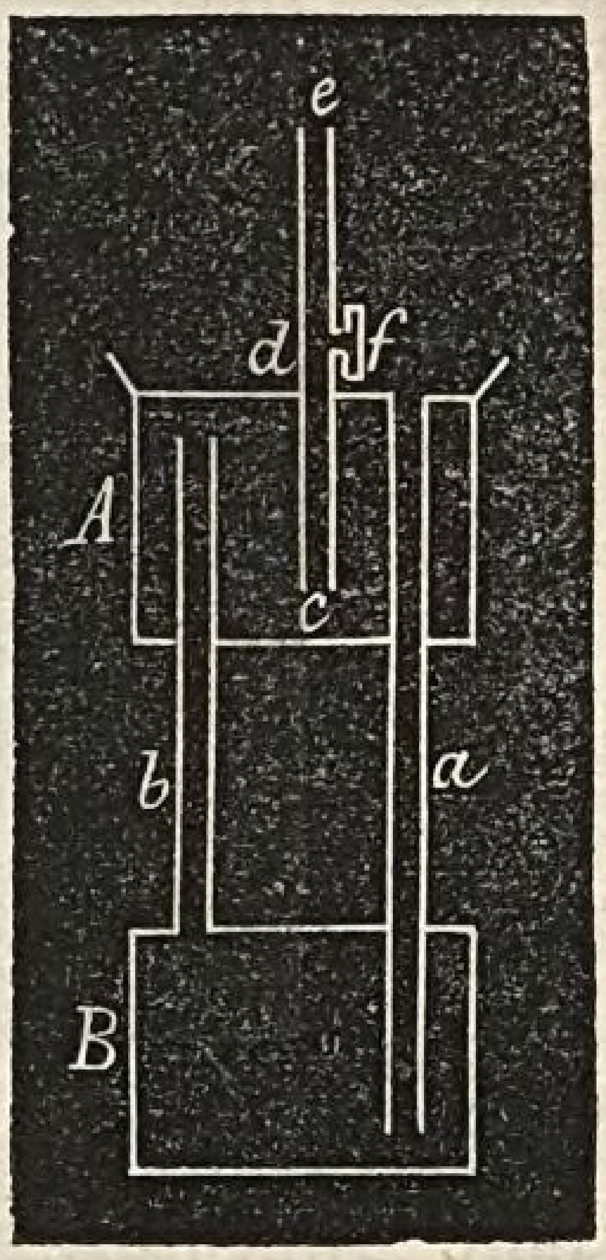


hierauf die über dem Wasser befindliche und von der äußeren Luft durch das Wasser getrennte Luft durch Hineinblasen mittelst des Mundes oder durch Anwendung der Verdichtungspumpe (§ 130) verdichtet, so sieht man einen Wasserstrahl zur Röhre herausspringen. — Ehe die Verdichtung der inneren Luft beginnt, hat diese mit der äußeren gleiche Dichtigkeit, mithin drücken die innere und die äußere Luft gleich stark auf das Wasser, welches daher in Ruhe bleibt; sobald aber die innere Luft durch neu hinzugekommene verdichtet wird, so erhält sie über die äußere Luft, deren Dichtigkeit ungeändert geblieben ist, ein Übergewicht an Kraft auf das Wasser, welches, der einzigen ihm dargebotenen Öffnung folgend, durch das Röhrchen herausspritzt.

Wie lange kann das Wasser nur herausspritzen? Warum geht der Wasserstrahl immer niedriger? Wenn der Hals des Heronsballes sich nicht abschrauben läßt, oder keine Seitenröhre zur Füllung des Gefäßes da ist, so geschieht die Füllung, indem man die Luft durch Aufsaugung verdünnt und das Ende des Röhrchens in Wasser steckt. — Heron von Alexandrien lebte etwa 200 Jahre v. Chr.

132. Auch beim **Heronsbrunnen** (Figur 50) erscheint verdichtete Luft als bewegende Kraft, nur daß beim Heronsballe die Verdichtung dadurch geschieht, daß in denselben Raum immer mehr und mehr Luft gebracht wird, beim Heronsbrunnen hingegen dadurch, daß dieselbe Menge Luft in einen immer kleineren Raum gedrängt wird. — Seine wesentlichen Teile sind: Zwei hohle Gefäße A und B über einander, wovon das obere A einen schüsselartigen Rand hat, und drei Röhren; von diesen beginnt die erste a im Deckel des oberen Gefäßes und geht senkrecht herab bis fast an den Boden des unteren Gefäßes; die zweite b beginnt im Deckel des unteren Gefäßes und geht senkrecht hinauf bis fast an den Deckel des oberen, die dritte endlich edc ist nur im oberen Gefäße und reicht bis fast an den Boden desselben. Der Teil ed geht aufzuschrauben und enthält den Hahn f zum Schließen und Öffnen des gewöhnlich spitz zulaufenden Röhrchens. — Man schraubt ed ab, gießt durch dc mittelst eines Trichters Wasser in A ein, so viel, daß es nicht durch b nach B fließen kann, schraubt ed auf und schließt das Röhrchen durch f; hierauf gießt man Wasser durch a nach B. Sobald dadurch das untere Ende von a in Wasser zu stehen kommt, sieht man, wenn f geöffnet wird, aus e Wasser in die Höhe spritzen. — So wie das untere Ende von a im Wasser steht, ist die Luft im unteren und oberen Gefäße über dem Wasser und die in der Röhre b durch die beiden Wassermassen abgeschlossen. Je mehr nun Wasser durch a in B gegossen wird, indem vorher f geschlossen worden ist, auf einen desto kleineren Raum wird diese Luftmenge beschränkt; sie wird dadurch desto dichter und drückt desto stärker nach allen Seiten, also auch auf das Wasser

Figur 50.



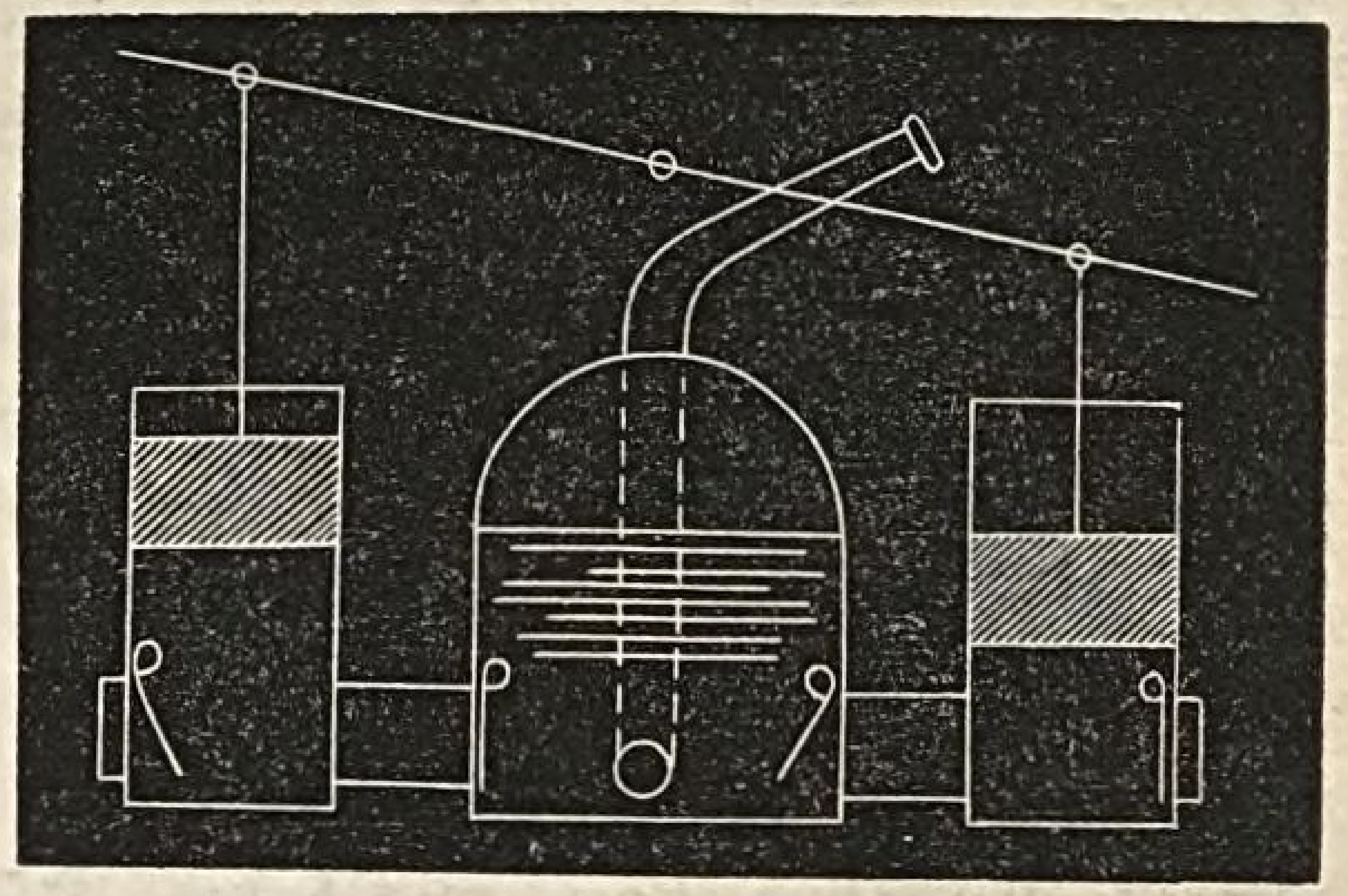
in A, welches dadurch, wie im Heronsballe, in die Röhre c d e gehoben, und durch diese, wenn man f öffnet, herausgetrieben wird.

Das herausspritzende Wasser ist das Wasser aus dem oberen Gefäße, es wird herausgetrieben durch die im Instrumente durch das Wasser im unteren Gefäße abgeschlossene und verdichtete Luft. Mancher natürliche Springbrunnen mag durch verdichtete Luft oder auch durch Dämpfe entstehen, so daß er also nicht aus hydrostatischen Gesetzen (§ 108) zu erklären ist.

133. Die Feuerspritzen. In der Handfeuerspritze, aus einem Stiefel und einem Kolben mit einer Kolbenstange bestehend, wird das Wasser in den durch das Heraufziehen des Kolbens im Stiefel entstandenen luftleeren Raum durch den Druck der äußeren Luft heraufgetrieben und durch den herabgehenden Kolben herausgetrieben.

Die Schlauchspritze (Figur 51) dagegen besteht aus einem Druckwerke und einem Windkessel, dessen Wirkung auf dem Heronsballe beruht. Die tragbaren Schlauchspritzen haben außer dem Windkessel nur eine Druckpumpe, die in jedes Gefäß mit Wasser gestellt werden kann; bei den fahrbaren dagegen ist auf Rädern ein Wasserkasten angebracht, in welchem sich zwei Druckpumpen befinden, deren Kolben mittelst Hebel so bewegt werden, daß sie abwechselnd auf und nieder gehen, zwischen ihnen der kupferne Windkessel, welcher, mit den Pumpen durch Seitenröhren in Verbindung stehend, den ledernen Schlauch enthält, der mit dem fast bis auf seinen Boden reichenden kupfernen Steigrohre verbunden ist und außerhalb in ein kupfernes bewegliches Mundstück ausgeht. In jedem Stiefel ist ein nach innen, und in jedem Seitenrohre ein nach dem Windkessel sich öffnendes Ventil angebracht. — Bei dem Heraufgehen eines Kolbens entsteht in dem zugehörigen Stiefel ein luftleerer Raum, die äußere Luft öffnet das Stiefelventil und treibt das Wasser hinein, welches bei gehöriger Höhe das Stiefelventil schließt; der hierauf heruntergehende Kolben drückt auf das innere Wasser, welches das Stiefelventil noch fester schließt, das Kesselventil aber öffnet und in den Kessel tritt. Sobald soviel Wasser im Kessel ist, daß das Ende des Steigrohrs hineintaucht, ist die Luft im Windkessel abgeschlossen, und wird durch fortgesetztes Pumpen, indem immer mehr Wasser eindringt, auch immer mehr verdichtet. Das Übrige ist von selbst einleuchtend.

Figur 51.

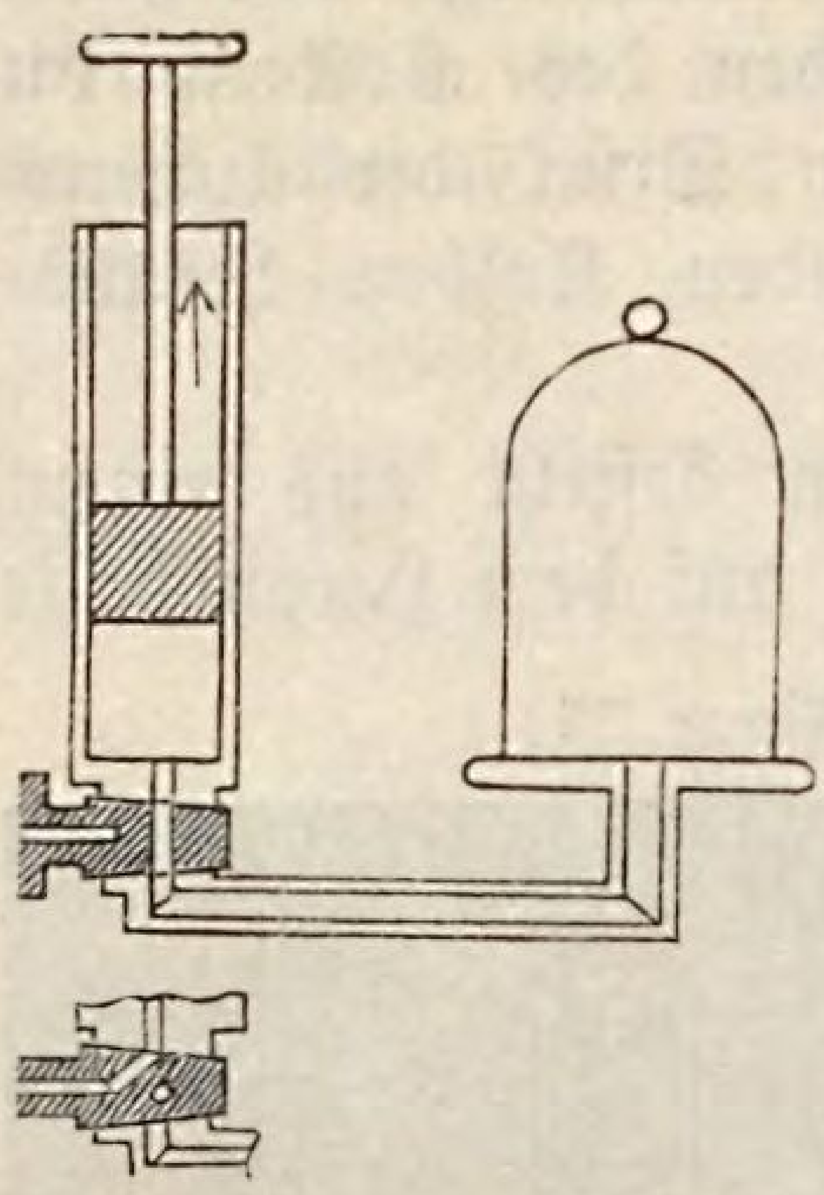


134. Die Luftpumpe ist das wichtigste Instrument bei Versuchen über die Luft. Ihre Hauptbestimmung ist, die Luft zu verdünnen, wiewohl sie auch zu dem Entgegengesetzten, dem Verdichten der Luft, eingerichtet werden kann. Es giebt zwei Hauptklassen von

Luftpumpen, nämlich: Hahnluftpumpen und Ventilluftpumpen.

1) Die Hahnluftpumpe (Figur 52) hat folgende sechs wesentliche Teile: den Stiefel, einen hohlen Metallcylinder; den Stempel oder Kolben, einen niedrigen massiven Cylinder, der in jenen genau paßt und mittelst eines an der Kolbenstange angebrachten Handgriffes, oder mittelst eines durch eine Kurbel bewegten, in die gezahnte Kolbenstange eingreifenden gezahnten Rades herauf und herunter bewegt wird; die Röhre, welche sich an die Durchbohrung des sehr genau eben abgeschliffenen metallenen Tellers, an den jetzt zweckmäßig eine Glasplatte gekittet wird, anschließt; den Recipienten, gewöhnlich eine gläserne Glocke oder Kampane, die, auf den Teller gesetzt, die Öffnung bedeckt, und aus welcher die Luft ausgepumpt wird; endlich den Hahn in der Röhre, der eine doppelte Bohrung hat und auf dreifache Art gedreht wird, nämlich: 1) so, daß der Recipient und der Stiefel mit einander in Verbindung kommen, und dabei die äußere Luft in keinen von beiden gelangen kann; 2) so, daß der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, diese aber nicht in den Recipienten dringen kann; 3) endlich so, daß der Recipient und die äußere Luft mit einander in Verbindung kommen. — Um nun die Verdünnung der Luft im Recipienten zu bewirken, verfährt man, wie folgt: Ist der Kolben nicht schon unten, so drehe man den Hahn so, daß der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, drücke hierauf den Kolben herab; drehe den Hahn so, daß der Stiefel und der Recipient in Verbindung kommen, ziehe den Kolben in die Höhe, drehe den Hahn wieder so, daß der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, drücke den Kolben herab u. s. w.; d. h. ist der Kolben unten, so muß man, ehe man ihn heraufzieht, zuerst die Verbindung zwischen dem Stiefel und dem Recipienten bewirken, und ist er oben, so muß man, ehe man ihn herabdrückt, vorerst die Verbindung zwischen dem Stiefel und der Atmosphäre herstellen. — Daß auf diese Art die Luftverdünnung stattgefunden haben muß, läßt sich so übersehen: Ist der Kolben unten und dabei der Stiefel und der Recipient mit einander in Verbindung, so entsteht im Stiefel bei jedesmaligem Heraufgehen des Kolbens ein luftleerer Raum, in den aber die Luft aus dem Recipienten sofort vermöge ihrer Ausdehnsamkeit eindringt und dadurch verdünnt wird, da sie nun einen weit größeren Raum (den Stiefel, die Röhre und den Recipienten) einnimmt. Wenn nun hierauf dem Hahne die Drehung, wodurch der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung kommt, gegeben und der Kolben heruntergedrückt wird, so wird dadurch die Luft aus dem Stiefel herausgetrieben u. s. w. Beim Verdünnen der Luft

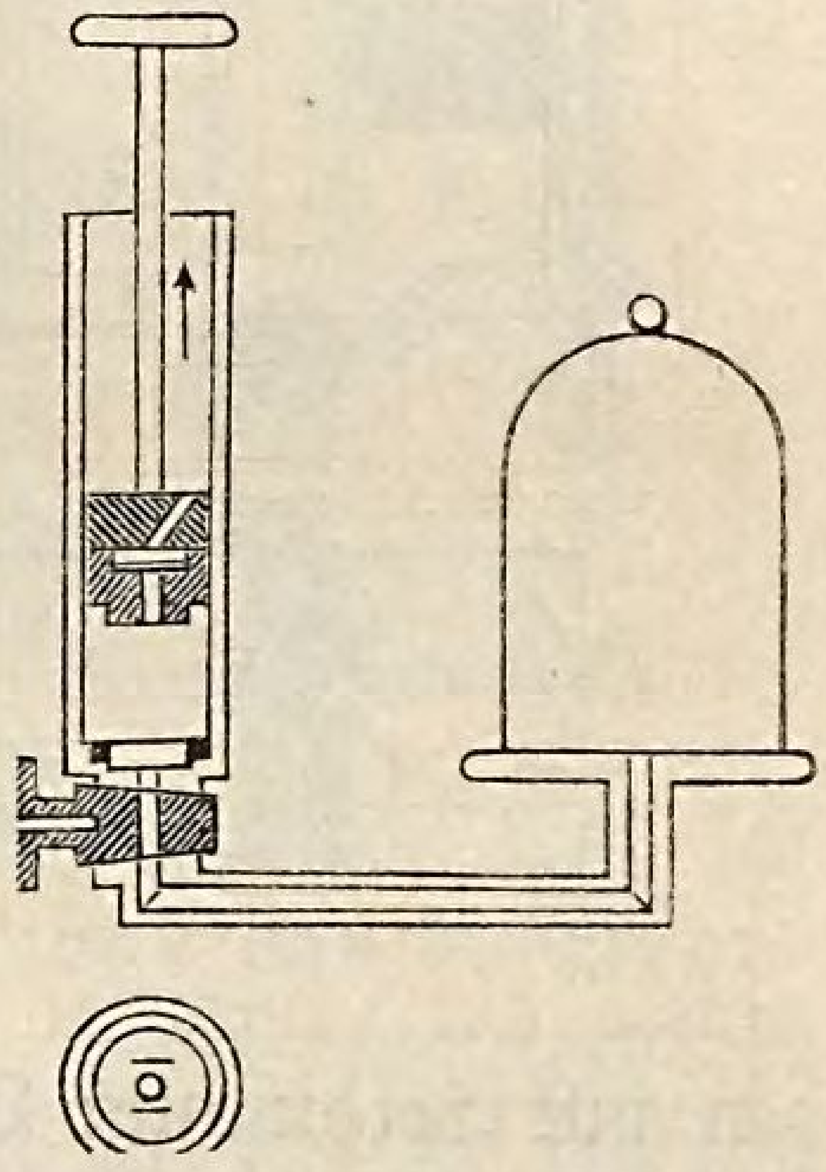
Figur 52.



werden nur die beiden ersten Drehungen des Hahnes abwechselnd gebraucht, die dritte aber dann, wenn man mit dem Experimentieren aufhören, den Recipienten wieder mit Luft füllen, die Glocke herunternehmen, überhaupt alles wieder in den natürlichen Zustand versetzen will.

2) Die Ventilluftpumpe (Figur 53) hat außer denselben Hauptteilen, wie die Hahnluftpumpe, noch zwei Ventile (Blasen- oder Kegelventile), von denen sich das eine am Boden des Stiefels (Bodenventil), das andere aber im Kolben (Kolbenventil) befindet; jenes öffnet sich bei überwiegendem Luftdrucke aus dem Recipienten nach dem Stiefel, dieses aus dem Stiefel nach der Atmosphäre, und sie schließen sich im umgekehrten Falle. Kegelventile versagen leicht den Dienst, namentlich bei starker Verdünnung, wo der geringe Druck vom Recipienten her dieselben nicht mehr zu öffnen vermag, wenn nicht besondere mechanische Vorrichtungen die Öffnung und Schließung bewirken. Das in der Figur angedeutete Blasenventil besteht aus einem kreisrunden Scheibchen von Wachstaffet, welches auf den ebenen Boden des Stiefels (oder der Höhlung im Kolben) gelegt, durch einen Metallring festgehalten, die in der Mitte des Bodens befindliche Mündung des Verbindungsrohres nach dem Recipienten überdeckt. Zwei parallele Schnitte in dem Scheibchen, vom Rande der Mündung etwas entfernt, gestatten den Durchtritt der Luft vom Recipienten her, oder im Kolbenventil vom Stiefel nach Außen hin. Bei entgegengesetzter Bewegung der Luft legt sich das biegsame Taffetblättchen dichtschließend auf die Mündung. Der Hahn hat in der Regel dieselbe Einrichtung, wie bei der Hahnluftpumpe, bleibt jedoch während des Auspumpens unverändert in der Stellung, in welcher er den Recipienten mit dem Pumpenstiefel verbindet. Die Luftverdünnung erfolgt hier ganz auf die in § 128 1 bei der Saugpumpe beschriebene Weise.

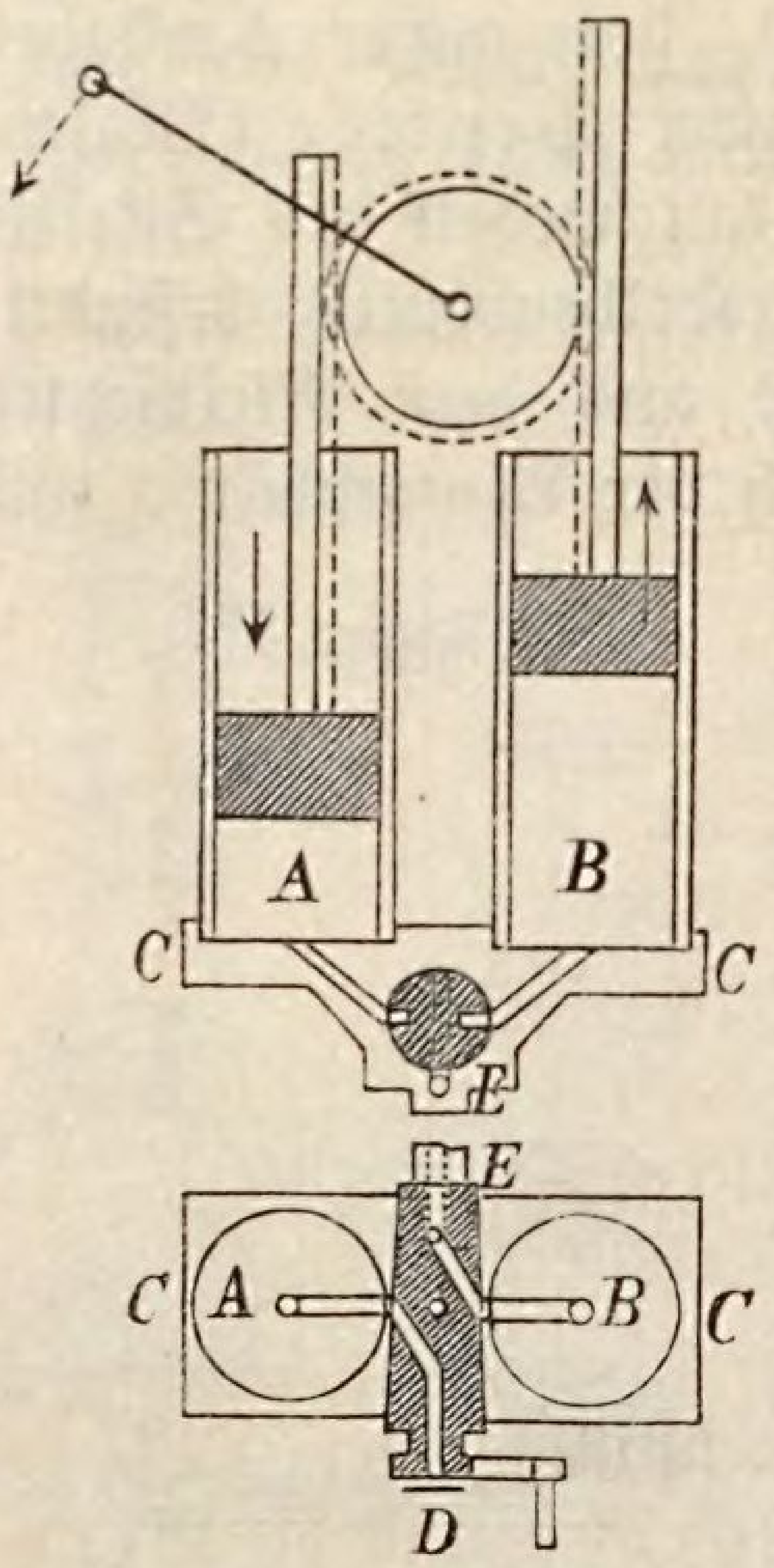
Figur 53.



3) Bei beiden Hauptarten von Luftpumpen findet eine Verdünnung der abgeschlossenen Luft nur beim Hinaufgehen des Kolbens statt, so wie beim Herabgehen desselben nur ein Heraustreiben eines Teiles dieser Luft. Beim Hinaufgehen des Kolbens tritt die Luft aus dem Recipienten in den Stiefel, beim Herabgehen wird diese Luft aus dem Stiefel in die Atmosphäre herausgetrieben. Um nun ohne Unterbrechung die innere Luft zu verdünnen und herauszuschaffen, verbindet man mit dem Recipienten zwei Stiefel und trifft die Einrichtung in der Bewegung der Kolben, daß der eine herabgeht, während der andere hinaufgeht. Es giebt daher ein- und zweistieflige Hahn- und Ventilpumpen. Die zweistiefelige Hahnluftpumpe (Fig. 54) hat folgende Einrichtung: Zwei Pumpenstiefel A und B, in welchen die

Kolben durch gezahnte Kolbenstangen, Zahnrad und Kurbel in Bewegung gesetzt werden, stehen auf einem gemeinsamen Metallkörper CC, welcher für beide den Boden bildet und zugleich den mehrfach durchbohrten Hahn enthält. Dieser ist mit zwei Längsbohrungen und zwei Querbohrungen versehen und durch eine kleine Kurbel drehbar. Die eine Längsbohrung verbindet einen Pumpenstiefel (A) mit der äußeren Luft, während die zweite Längsbohrung den anderen Pumpenstiefel (B) mit der am dünneren Teile des Hahnkörpers befindlichen Querbohrung verbindet. Letztere steht durch ein Rohr E mit dem (in der Figur weggelassenen) Recipienten in Verbindung. Geht in A der Kolben nieder, so dringt die Luft durch die erste Längsbohrung nach außen; zugleich geht in B der Kolben aufwärts und bewirkt durch die Verbindung des Stiefels mit dem Recipienten eine Verdünnung der Luft in diesem. Nach Drehung des Hahnes um zwei rechte Winkel ist A mit dem Recipienten B mit der nach außen führenden Bohrung in Verbindung gebracht. Es würde nun sofort in den mit verdünnter Luft erfüllten Raum von B die äußere Luft eindringen, wenn nicht ein kleines Ventil D dies verhinderte. Es hat diese Einrichtung den Vorteil, daß auf den Kolben während des größten Teiles seines Niederganges unterhalb ein geringer, oberhalb stets der volle Druck der Atmosphäre wirkt. Der Überdruck erfolgt in der Richtung der Bewegung und bewirkt dadurch eine sehr erhebliche Ersparnis an bewegender Kraft. Die zweite Querbohrung des Hahnes verbindet A und B in dem Augenblicke, wo der Hahn um einen rechten Winkel gedreht ist, sodaß der Luftinhalt des sogenannten „schädlichen Raumes“ in den leeren Raum des vom Recipienten eben abgesperrten Stiefels übertreten und dadurch fast unschädlich gemacht werden kann. Der schädliche Raum einer Luftpumpe ist der Raum zwischen dem Kolben in seinem tiefsten Stande und dem Hahne (oder zwischen beiden Ventilen bei Ventilluftpumpen), welcher nach jedem Kolbenzuge mit der äußeren Luft und dann mit dem Recipienten in Verbindung kommt, wobei jedesmal etwas Luft in den letzteren zurücktritt.

Figur 54.

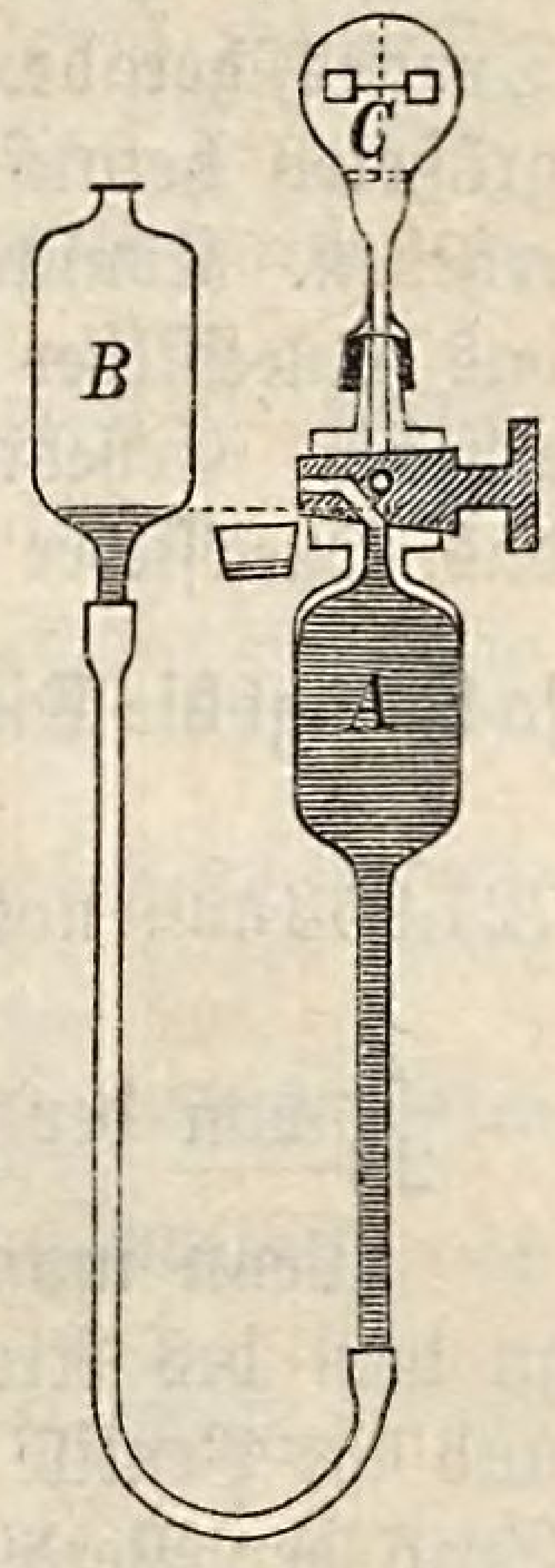


Selbststeuerung — Steuerungshähne und Sperrhähne.

4) Die bisher betrachteten Luftpumpen, bei welchen eine Luftverdünnung nur bei der Kolbenbewegung nach der einen Richtung bewirkt wird, heißen einfachwirkende; Luftpumpen dagegen, bei welchen bei jeder Kolbenbewegung eine Luftverdünnung stattfindet, werden doppeltwirkende genannt. Dieselben sind ihrer komplizierten Einrichtung wegen nur wenig in Gebrauch. Dagegen haben in neuerer Zeit die so-

genannten Quecksilberluftpumpen zu bestimmten Zwecken wichtige Anwendung gefunden. Sie bestehen im Wesentlichen aus zwei Glasgefäßen, A und B (Figur 54a), die durch einen starken Kautschukschlauch verbunden sind. A endigt nach unten in ein etwa 80 cm langes Glasrohr, an dessen Ende der Kautschukschlauch befestigt ist; nach oben in ein mit Glashahn versehenes Rohr, welches mit dem auszupumpenden Gefäße C luftdicht verbunden wird. B ist etwas größer, als A, und läßt sich senkrecht abwärts und aufwärts bewegen. Der Apparat ist soweit mit Quecksilber gefüllt, daß dasselbe bei der höchsten Stellung von B bis in die nach außen führende Hahnbohrung eintritt. Wird alsdann A mit C verbunden und B heruntergelassen, bis A entleert ist, dann A mit der äußeren Luft verbunden und B bis zum höchsten Stande erhoben, so wird in C dieselbe Wirkung erzielt, wie bei einer Hahnluftpumpe, wobei A den Pumpenstiefel und das Quecksilber den Kolben vertritt. Da der schädliche Raum hier vollkommen vermieden ist, so läßt sich in C eine nahezu vollkommene Luftleere erzeugen.

Figur 54 a.



5) Zur Beurteilung des Grades der Verdünnung der Luft im Recipienten dienen die sogenannte Barometerprobe und die Birnprobe, welche letztere jetzt wenig gebraucht wird. Die Barometerprobe ist ein kleines Heberbarometer, dessen Quecksilbersäule auf 104 bis 157 mm verkürzt ist, auf einem eigenen Fußgestelle steht und so unter den Recipienten gesetzt werden kann. Es fängt erst dann an zu sinken, wenn die innere Luft so stark verdünnt ist, daß sie nicht mehr eine Quecksilbersäule von 104 bis 157 mm zu tragen, oder genauer gesagt, ihr das Gleichgewicht zu halten im Stande ist. Ein gewöhnliches Heberbarometer würde dann, wenn es im Recipienten Platz hätte, mit der Barometerprobe immer gleiche Barometerstände haben. Wie viele Male die innere Luft dünner, als die äußere geworden ist, läßt sich aus der Vergleichung der Barometerstände des in der Atmosphäre hängenden Barometers und der im Recipienten stehenden Barometerprobe finden. Steht jenes auf 725,2 mm, dieses auf 19,6 mm, so verhält sich der Druck der äußeren Luft zu dem der inneren wie 7252 : 196 oder wie 37 : 1; also nach dem Mariotte'schen Gesetze auch die Dichtigkeit der äußeren Luft zu der Dichtigkeit der inneren Luft, wie 37 : 1, d. h. die innere Luft ist 37 Mal dünner als die äußere geworden. Nicht selten sieht man eine andere barometrische Vorrichtung, bei welcher der Stand des Quecksilbers in einer Röhre bestimmt wird durch die gleichzeitige Wirkung der äußeren unverändert bleibenden und der inneren immer dünner werdenden Luft. Eine lange senkrechte, an beiden Enden offene Röhre steht nämlich mit dem unteren Ende in einem Gefäßchen mit Quecksilber und reicht mit dem oberen in den Recipienten. Findet nun

keine Verdünnung der Luft statt, so drückt die Luft im Recipienten das Quecksilber in der Röhre eben so stark herunter, als die äußere herauf, daher es im Gefäßchen und in der Röhre gleich hoch steht; bei stattfindender Verdünnung muß es aber, wegen des kleiner werdenden Druckes herabwärts und des unverändert bleibenden, und deshalb nun größeren heraufwärts, natürlich diesem letzteren folgen und sich mithin erheben. Könnte der Recipient ganz luftleer gemacht werden, so müßte das Quecksilber sich bis zur Höhe des jedesmaligen Barometerstandes erheben. Erhebt sich z. B. bei einem Barometerstand von 732,312 mm das Quecksilber in dieser Röhre der Barometerprobe auf 730,1325 mm, so beträgt die Dichtigkeit der Luft im Recipienten noch $^1/_{336} = \frac{7323120}{21795}$, bei 727,953 mm noch $\frac{732312}{4359} = \frac{1}{168}$; und bei 706,158 mm nur $\frac{732312}{26154} = \frac{1}{28}$ von der Dichtigkeit der äußeren Luft.

Wenn man weiß, in welchem Verhältnisse der Raum des Stiefels zu dem des Recipienten steht, so kann man schon, wenn der Kolben und die Ventile luftdicht schließen, aus der Anzahl der Kolbenzüge den Grad der Verdünnung einigermaßen richtig beurteilen. Nehmen wir als Beispiele an, daß der innere Raum des Stiefels eben so groß, dann halb so groß und endlich doppelt so groß sei, so wird bei jedem Kolbenzuge die Dichtigkeit der Luft in derselben Ordnung auf $^1/_2$, $^2/_3$, $^1/_3$ derjenigen Dichtigkeit, welche sie beim Beginnen des Kolbenzuges hatte, gebracht, da sich die Luft der Glocke in den doppelten, anderthalbfachen und dreifachen Raum ausdehnt. Sechs Kolbenzüge bringen also die eingeschlossene Luft auf

$^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{16}$, $^1/_{32}$, $^1/_{64}$,
$^2/_3$, $^4/_9$, $^8/_{27}$, $^{16}/_{81}$, $^{32}/_{243}$, $^{64}/_{729}$,
$^1/_3$, $^1/_9$, $^1/_{27}$, $^1/_{81}$, $^1/_{243}$, $^1/_{729}$,

der natürlichen Dichtigkeit.

Der sogenannte schädliche Raum verhindert die Verdünnung in diesen Zahlenreihen; sie kann jedoch bei guten Luftpumpen auf $^1/_{200}$, ja durch Entfernung der Wasserdünste mittelst unter den Recipienten gestellter Schwefelsäure oder Chlorcalcium auf $^1/_{500}$ gebracht werden.

Wasserluftpumpen sind mit Wasser vollgefüllte Gefäße, in denen ein luftleerer Raum hervorgebracht wird, indem die Flüssigkeit durch senkrechte Röhren abfließt.

Vorteile und Nachteile einer jeden Hauptart der Luftpumpen. — Die gewöhnlichsten Experimente mit der Luftpumpe sind folgende:

1) Der Recipient hängt fest an dem Teller, wenn die Luft in ihm verdünnt worden ist, kann aber mit gewöhnlicher Leichtigkeit herabgenommen werden, sobald wieder Luft hineingelassen worden ist.

2) Die Magdeburgischen Halbkugeln lassen sich, wenn die Luft aus ihnen möglichst ausgepumpt worden ist, oft nicht mit der größten Gewalt auseinanderreißen.

3) Quecksilber kann mittelst des Luftdruckes durch Holz getrieben werden.

4) Wird ein an beiden Enden offener Cylinder auf den Teller gesetzt und das obere Ende mit dem flachen Handteller zugedeckt, so wird die Hand fest

angedrückt; wird auch nur die Öffnung im Teller mit einem Finger bedeckt, so wird dieser fest auf die Öffnung angedrückt.

5) Blasen und Glasplatten, fest auf die Öffnung dieses Cylinders gebracht, können durch den Druck der Luft gesprengt werden.

6) Eine in Falten gelegte und zugebundene Blase dehnt sich unter dem Recipienten, wenn die Luft verdünnt wird, völlig aus und fällt wieder zusammen, sobald die Luft hineingelassen wird; ein Gleiches findet bei einem Stücke Sauerteig statt. Ein runzlicher Apfel wird unter dem Recipienten voll und glatt.

7) Ein genau verschlossenes Glas in den Recipienten gestellt, springt bei hinlänglicher Verdünnung der Luft.

8) Der Heronsball springt unter dem Recipienten, sobald nur die Verdünnung beginnt.

9) Der Heber fließt nicht im luftleeren Raume.

10) Aus Wasser, Bier, Milch u. s. w. sieht man im luftverdünnten Raume Luftblasen aufsteigen: eben so beim Holze, welches außerdem noch, wenn wieder Luft in den Recipienten eingelassen wird, tiefer einsinkt.

11) Steht eine enge, oben zugeschmolzene Röhre mit einem Recipienten so in Verbindung, daß ihr unteres Ende in ein unter denselben gestelltes Gefäß mit Wasser reicht, so treten während des Auspumpens Luftblasen aus; und so wie in den Recipienten Luft gelassen wird, hebt sich das Wasser zu einer bedeutenden Höhe in der Röhre und sinkt bei wieder erfolgter Verdünnung.

12) Ein Dukaten und eine Flaumfeder fallen im luftleeren Raume gleich schnell herab (§ 24).

Andere Versuche, deren Erklärung auf noch vorzutragenden Lehren beruht, sind z. B.

13) Hängen an einem Wagebalken zwei Körper von gleichem Gewicht, aber der eine von sehr kleinem, der andere von großem Umfange, und bringt man sie unter den Recipienten der Luftpumpe, so sinkt bei Verdünnung der Luft der Körper von größerem Volumen herunter (§ 135).

14) Eine Glocke giebt im luftleeren Raume keinen Schall (§144. 1).

15) Ein Feuerzeug giebt in sehr verdünnter Luft keinen Funken; ein Licht erlischt; das Tier kommt um.

16) Alle Flüssigkeiten verdunsten im luftleeren Raume und erzeugen dadurch Kälte; man pflegt durch Verdunstung des Schwefeläthers, auch mit Hülfe der Schwefelsäure unter dem Recipienten Wasser zum Gefrieren zu bringen — Lauwarmes Wasser kommt zum Sieden (§ 189. 4).

Mehrere von diesen Versuchen erfordern besondere Vorrichtungen am Recipienten, deren Erklärung dem mündlichen Vortrage überlassen bleiben muß.

Anwendung der Luftpumpe im großen bei den atmosphärischen Eisenbahnen, der Rohrpost u. s. w.

Otto v. Guerike (1620—1686), Ratsherr zu Magdeburg, erfand die Luftpumpe und experimentierte mit ihr zu Regensburg 1654 vor Kaiser Ferdinand III. Auf jede der Halbkugeln von 575 mm Durchmesser drückt die Luft mit einer Kraft von 2700 kg, so daß auf jeder Seite 30 Pferde (zu 90 kg Kraft gerechnet) im Stande gewesen wären, die luftleer gemachten Halbkugeln auseinander zu reißen. Experimenta magdeburgica. — Otto von Guerike'sche Leere oder vacuum Guerikianum, auch Boylianum (§ 126).

135. Auch in der Luft verliert jeder Körper von seinem absoluten Gewichte so viel, als die durch ihn verdrängte Luft wiegt (§ 115); es muß daher ein großer Körper mehr als ein kleiner, und ein und derselbe Körper in den unteren dichteren Schichten der Atmosphäre von seinem Gewichte mehr als in den oberen dünneren verlieren; dort also gleichsam leichter als hier sein. Das Verhältnis der specifischen Gewichte der Luft und des betrachteten Körpers entscheidet es auch hier, ob dieser in ihr steigen, fallen oder schweben muß. In der Atmosphäre

kann ein und derselbe Körper steigen, schweben und fallen, je nachdem die Höhe ist, in der er sich befindet. Schwebt ein Körper in der Luft, so kann er bei Verminderung seines absoluten Gewichtes steigen, wie bei Vermehrung desselben sinken; die Verminderung entsteht, wenn er bei unverändertem Volumen leichter, oder bei unverändertem Gewichte größer wird; die Vermehrung auf die entgegengesetzte Art. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper in der Atmosphäre aufsteigt, ist desto größer, um je mehr sein Gewicht kleiner ist, als das der verdrängten Luftmasse. Unter Steigkraft oder Hebungskraft eines aufsteigenden Körpers versteht man den Überschuß des Gewichtes der von ihm verdrängten Luft über sein Gewicht. Je höher ein Körper steigt, desto kleiner wird seine Steigkraft, und kommt er in diejenige Höhe, wo die Luft mit ihm dasselbe specifische Gewicht hat, so wird sie gleich Null, und es erfolgt ein Stillstand desselben in der Atmosphäre.

Das absolute Gewicht eines Körpers in strengster Bedeutung könnte also nur durch Abwägung im luftleeren Raume gefunden werden. Das Manometer oder Dasymeter, ein von Otto von Guerike erfundener Dichtigkeitsmesser der Luft, gründet sich auf den ungleichen Gewichtsverlust verschieden großer Körper in der Luft.

136. 1) Die Luftballons, Luftbälle, Aerostaten oder Luftschiffe gründen sich darauf, daß jeder Körper, welcher specifisch leichter ist, als die atmosphärische Luft an der Stelle, wo er sich befindet, so lange in ihr steigen müsse, bis er eine Höhe erlangt, in welcher die Luft und er selbst von gleichem specifischen Gewichte sind. Eine Hohlkugel aus möglichst leichter, luftdichter Materie (Goldschlägerhaut, Seidenzeug ꝛc. ꝛc.), mit gewöhnlicher Luft gefüllt, kann nicht aufsteigen; da ja schon die eingeschlossene Luft für sich nicht aufsteigen würde, um so weniger aber umgeben mit einer Hülle, die, so leicht sie auch immer sein mag, mehr wiegt, als die durch sie verdrängte Luft. Erwärmte atmosphärische Luft ist aber leichter als kältere, und zwar desto leichter, je wärmer sie ist (§ 182. 1); sie steigt daher aufwärts und ist mithin auch im Stande, eine sie umschließende Hülle, wenn diese nicht so schwer ist, daß durch sie ein eben so großes oder noch größeres Gewicht als das der verdrängten Luft entsteht, mit in die Höhe zu nehmen. Dasselbe gilt, wenn die Kugel mit Wasserstoffgas (§ 121), welches, wenn es auch nicht rein ist, doch immer 6—7 mal leichter, oder mit Kohlen-Wasserstoffgas, welches zur Gasbeleuchtung gebraucht wird und etwa halb so schwer als die atmosphärische Luft ist, gefüllt wird. Auf der Füllung einer möglichst leichten Hohlkugel mit einer Luftart, die mehrere male leichter als die atmosphärische Luft ist, wodurch das Aufsteigen bewirkt wird, beruhen die Luftschiffe, welche Montgolfieren oder Charlieren heißen, je nachdem sie mit erwärmter atmosphärischer Luft oder mit Wasserstoffgase gefüllt werden. Jene Art der Füllung wendeten 1783 den 5. Juni die Gebrüder Montgolfier, Papierfabrikanten zu Annonay in Frankreich, an; diese dagegen Professor Charles in Paris 27. August 1783, Glaisher und Coxwell unternahmen 5. September 1862 eine Luftschiffahrt, bei welcher

sie eine Höhe von 7846 m erreichten. Das Thermometer zeigte hier — 19° C., während es bei der Abfahrt auf 15° C. stand. Die höchste mit dem Luftballon erreichte Höhe soll 10357 m betragen.

2) Zur Beurteilung der Steigkraft der Aerostaten im allgemeinen dienen folgende Andeutungen: Aus den Barometerständen lassen sich nicht nur die Höhen, sondern auch die Dichtigkeiten der Luft, folglich auch die Gewichte gleicher Luftmassen in verschiedenen Höhen finden. Bei den Barometerständen von 189, 252, 378 mm ist auch die Luft $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ mal so dicht und hat daher $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ so viel Gewicht, als bei dem Barometerstande von 756 mm. Nun hat aber die atmosphärische Luft in der Höhe von $\frac{1}{4}$ Meile $\frac{4}{5}$ von der Dichtigkeit der untersten, von $\frac{1}{2}$ Meile $\frac{3}{5}$, von 1 Meile $\frac{2}{5}$, von 2 Meilen $\frac{1}{6}$, von 3 Meilen $\frac{1}{14}$, von 10 Meilen $\frac{1}{7000}$; wiegt nun in der Ebene ein Kubikmeter Luft 1300 Gramm, so wiegt ein Kubikmeter Luft in der Höhe von $\frac{1}{4}$ Meile nur $\frac{4}{5} \cdot 1300$ Gramm $= 1040$ Gramm; in der Höhe von $\frac{1}{2}$ Meile nur 780 Gramm, von 1 Meile noch 173 Gramm. Verdrängt nun ein Luftball, welcher mit Hülle und Füllung 400 kg wiegt, eine Luftmasse von 1000 Kubikmeter, so wiegt diese 1300 kg; und die Steigkraft des Ballons ist $1300 - 400 = 900$ kg; welche an ihn angehangen, sein Steigen verhindern würden. Wie hoch kann er nun steigen? Bis zu der Höhe, in welcher die 1000 Kubikmeter leichterer Luft gerade 900 kg wiegen. Wenn nun in dieser Höhe 1 Kubikmeter Luft x g gleich ist, so wird $1000 \cdot x = 400$ kg und $x = 400$ g: dies giebt eine Höhe von etwa 8500 m, etwa auf dem Gipfel des Dhawalagiri. — Oder nach dem Mariotte'schen Gesetz, wenn y den Barometerstand bedeutet, $1300 : 400 = 760 \text{ mm} : y$; $y = 231{,}5$ mm; was auf eine Höhe von 8500 mm deutet.

Hätte bei einer Montgolfiere die Kugel 12 m im Durchmesser, wäre also ihr Kubikinhalt (nach $\frac{d^3 \pi}{6}$) $= 904{,}8$ cbm, so würde die verdrängte Luft von der Temperatur Null wiegen 1176,29 kg. Würde nun die Kugel mit erhitzter Luft gefüllt, welche um ein Dritteil leichter wäre, so würde ihr Gewicht zwei Dritteile von dem Gewichte der verdrängten betragen, also $\frac{2 \cdot 1176{,}29}{3} = 784{,}16$ kg und die Steigkraft des Ballons betrüge also 392,08 kg. Wird hiervon noch abgerechnet das Gewicht der Hülle etwa 40 kg, des Schiffchens mit Zubehör, etwa 90 kg, und das zweier mitaufsteigender Menschen, etwa 130 kg, zusammen also 260 kg, so bliebe dem Balle noch eine Steigkraft von 132,08 kg.

4) Das Wasserstoffgas, rein von 0,0688 specifischem Gewicht, ist bei gleicher Ausdehnsamkeit mit der atmosphärischen Luft leichter als diese, in dem unreinen Zustande, in welchem es bei den Charlieren gebraucht wird, noch etwa 6 mal leichter. Steigt nun ein mit diesem Gase gefüllter Ballon in die höheren, dünnere Luft enthaltenden Regionen der Atmosphäre, so wird er sich, wegen des nun geringeren Druckes von außen her, ausdehnen, selbst wenn er nicht voll gefüllt

worden ist, was sich bis zum Zerplatzen desselben fortsetzen würde; wird aber durch ein Ventil Wasserstoffgas herausgelassen, so kann der Zustand, daß die innere Luft immer an 6 mal leichter als die äußere ist, stets erhalten werden. Der Schluß aber, daß dann der Ballon unverändert seine Steigkraft behalten müßte, und zu steigen nie aufhören könnte, wäre falsch; weil nämlich der Unterschied zwischen den Gewichten der inneren und äußeren Luft, welche auf diese Weise mit der Höhe beide dünner werden, immer kleiner wird, z. B. 1200 cbm wiegen auf der Oberfläche der Erde bei der Temperatur Null 1560 kg, so viel Wasserstoff also 260 kg, der Unterschied beträgt also 1300 kg; $^1/_4$ Meile hoch, wo die Dichtigkeit der Luft nur $^4/_5$ beträgt, wiegen jene nur 1248 kg, diese also 208 kg, der Unterschied ist also nur 1040 kg; $^1/_2$ Meile hoch, wo die Dichtigkeit der Luft nur $^3/_5$ beträgt, beträgt der Unterschied nur 936 — 156 = 780 kg. Hierzu kommt aber noch, daß das Gewicht des Schiffchens, der Hülle des Ballons und der mitreisenden Personen in allen Höhen unverändert bleiben (genau genommen, § 135, sich sogar etwas vergrößern), weshalb die eigentliche Steigkraft schneller abnehmen muß. Hätte der Ballon 1200 cbm Inhalt, so betrüge:

a) das Gewicht der verdrängten Luft . . .		1560 kg,
b) das des Wasserstoffgases . . .	260 kg	780 kg,
c) das des Schiffchens	180 kg	
d) das der Hülle	40 kg	
e) das vierer Personen	300 kg	
also Steigkraft		780 kg.

Steigt nun der Ballon in die Höhe, so bleiben c, d, e ungeändert; aber a und b ändern sich. Z. B. in der Höhe von 1 Meile, wo die Dichtigkeit der Luft nur $^2/_5$ der untern beträgt und der Wasserstoff, wie oben $^1/_6$ derselben angenommen wird, ergiebt sich

a)		624 kg
b)	104 kg	
c + d + e) . . .	520 kg	

woraus hervorgeht, daß das Luftschiff sich nicht höher als eine Meile erheben kann.

Wenn der Halbmesser des kugelförmigen Ballons r Meter, das Gewicht eines cbm der untern atmosphärischen Luft a Gramm, und das eines cbm des den Ballon füllenden Gases b, endlich das Gewicht eines Quadratmeters der Hülle c Gramm beträgt, so ist die Steigkraft des Ballons $= \frac{4}{3} r^3 \pi (a - b) - 4 r^2 \pi c$. Wäre $r = \frac{3c}{a-b}$, so muß der Ballon ruhig schweben; ist aber r größer als $\frac{3c}{a-b}$, so steigt er in die Höhe.

5) Hinsichtlich der Mittel, welche der Luftschiffer hat, die Steigkraft des Ballons zu vermehren und zu vermindern, also wenn dieser zum Stillstande gekommen ist, ihn steigen oder sich senken zu lassen, ist

noch vieles zu wünschen übrig; die vorzüglichsten sind aber folgende: Eine Montgolfiere steigt durch Auswerfen von mitgenommenem Ballast (Sand) und durch Vermehrung der Wärme, indem das Feuer der Glutpfanne verstärkt, oder die Anzahl der brennenden Weingeistlampen vermehrt wird; sie sinkt durch Verminderung der Wärme, indem das Feuer der Glutpfanne geschwächt, oder einige Lampen, oft alle, ausgelöscht werden. Eine Charliere steigt, wenn mitgenommener Ballast ausgeworfen wird; sie sinkt, wenn Wasserstoffgas aus dem Ballon herausgelassen wird, was zur Folge hat, daß unter dem dadurch größer gewordenen Drucke der Atmosphäre der Ballon kleiner, also specifisch schwerer wird und sich deshalb senkt.

6) Ungeachtet aller angewendeten Mühe und verschiedener Versuche ist es bis jetzt noch nicht gelungen, das Luftschiff nach einer bestimmten Gegend hin zu lenken. Man kann dies nur dadurch erlangen, daß man sich, da die Winde in verschiedenen Höhen auch nach verschiedenen Richtungen wehen, so lange erhebt und senkt, bis man in eine Region kommt, in welcher der Wind in der Richtung nach dem Ziele weht.

7) Aufsteigende Luftschiffe hatten nach Beobachtungen 1,9 m; 2,2 m; 2,5 m bis 3,1 m Geschwindigkeit, so daß also bei der letzteren Geschwindigkeit ein Luftschiff sich 1883 m erhebt in 600 Sekunden oder 10 Minuten; die Geschwindigkeit aber, mit welcher Aerostaten vom Winde fortgetrieben werden, ist oft sehr groß, 38 bis 150 Kilometer in einer Stunde, z. B. 1804 den 16. Dezember stieg in Paris ein Ballon auf und fiel 22 Stunden darauf, den 17. Dezember, bei Rom nieder, wobei mehr als 75 km auf die Stunde kommen; eben so legte Green in Gesellschaft von Holland und Mason bei seiner 226sten Luftreise im November 1836 den Weg von London über Dover, den Kanal von Calais, die Niederlande bis nach Deutschland und zwar bis zur Lechmühle zwischen Dillhausen und Niederhausen im Nassauischen Amte Weilburg — in gerader Linie etwa 675000 m — binnen 17½ Stunden zurück, wiewohl das Schiff über London 2 Stunden lang schwebte. Dabei schiffte er über den 5 Meilen breiten Kanal in 10 Minuten, während Blanchard 1785 dazu 1½ Stunde brauchte. Bei dieser bisher größten und schnellsten Luftreise hielten sich die Reisenden an ⅔ Stunden in einer mittleren Höhe von 3138 m.

Aeronautik, Luftschiffkunst — Fallschirm, zuerst von Le Normand 26. November 1773, dann von Blanchard angewendet. Berühmte Luftschiffer sind: Pilatre des Rozier, d'Arlandes, Graf Zambeccari, Blanchard, Robertson, Garnerin, Green u. s. w. Wissenschaftlicher Zwecke wegen machten Luftreisen: Biot, Gay-Lussac, Sacharow, Forster u. s. w. Die Franzosen benutzten den Luftballon im Kriege während der Revolution, und 1870/71 bei der Belagerung von Paris durch die Deutschen.

Sechster Abschnitt.

Vom Schalle.

137. Schall nennen wir jede Einwirkung auf unser Gehör; die Lehre vom Schalle heißt Akustik. Einen Schall bringt ein Körper hervor, wenn er mit hinlänglicher Geschwindigkeit schwingt (vibriert, oscilliert), so schnell nämlich, daß seine Schwingungen nicht mehr zählbar sind; in Schwingungen können aber alle Körper versetzt werden, am meisten jedoch die festen und luftförmigen: jene vermöge ihrer Elasticität, diese vermöge ihrer Expansion. Je elastischer ein fester, je expansiver ein luftförmiger Körper ist, desto mehr eignet er sich zur Hervorbringung eines Schalles. Alle Mittel aber, die Körper in Schwingungen zu bringen, lassen sich auf Stöße zurückführen, welche vorübergehende und sich eine Zeit lang wiederholende Formveränderungen oder Dichtigkeitsveränderungen veranlassen.

138. Ton bezeichnet den durch regelmäßig auf einander folgende Schwingungen erzeugten Schall, und ist der Gegensatz von Knall, Geräusch, Pochen, Sausen, Zischen, Knistern, Gemurmel &c., welche Ausdrücke den durch unregelmäßige Schwingungen hervorgebrachten Schall bezeichnen. Tönende Körper, wie Glocken und Saiten, setzen weit mehr Elasticität voraus, als solche, die nur ein Geräusch, Knistern u. s. w. hervorbringen. Ein Ton ist desto höher oder tiefer, je schneller oder langsamer der Körper schwingt; je größer oder kleiner also die Zahl seiner Schwingungen für eine bestimmte Zeit ist. Bei gleicher Tonhöhe kann der Eindruck auf das Gehör ein verschiedenartiger sein, je nach der Natur des schwingenden Körpers, welcher den Ton erzeugt; diese Verschiedenheit im Klange gleicher Töne wird nach Helmholtz durch das Hinzutreten der sogenannten Obertöne (§ 140. 2.) herbeigeführt.

139. Die Schwingungen schallender Körper sind dreifacher Art: Längen- oder Longitudinalschwingungen, Quer- oder Transversalschwingungen und drehende Schwingungen, je nachdem die Richtung der Bewegung längs der Hauptdimension des Körpers oder senkrecht auf dieselbe ist, oder die Schwingungen um die Achse des Körpers geschehen. Die am häufigsten vorkommenden Schwingungen sind die Longitudinal- und Transversalschwingungen.

Die festen Körper selbst teilen wir in Bezug auf den Schall nach Chladni ein: in fadenförmige, d. i. solche, bei denen die Länge vorherrschend ist, und in membranenartige, d. i. solche, bei denen Länge und Breite gleich stark hervortreten, und heben hier von den ersteren vorzugsweise die Saiten, von den letzteren vorzugsweise die Glasscheiben heraus.

140. 1) In Transversalschwingungen kann eine Saite auf verschiedene Arten versetzt werden, z. B. durch Streichen, wie bei der

Violine, durch Schlagen, wie beim Klavier, durch Blasen, wie bei der Aeolsharfe, durch Zupfen, Reißen u. s. w. Durch diese Mittel wird die Saite aus ihrer geraden Gleichgewichtslage in eine gekrümmte gebracht, und dadurch verlängert; sie kehrt dann vermöge ihrer Elasticität von selbst in die ursprüngliche sich verkürzend zurück, geht darauf durch die erlangte Geschwindigkeit auf die andere Seite sich verlängernd in eine gekrümmte Lage, kehrt dann wieder in die gerade zurück, und macht so Schwingungen, welche immer kleiner werdend endlich aufhören, wie die Pendelschwingungen. Unter Schwingung verstehen einige den Weg aus der entferntesten gekrümmten Lage auf der einen Seite der geraden Lage bis zu der entferntesten gekrümmten auf der anderen Seite derselben; Andere aber den Hin- und Hergang des schwingenden Körpers, also das Doppelte von jenem Wege. Die erstere Bezeichnung wird insbesondere noch bei Pendelbewegungen gebraucht. Bei den sehr raschen Schall- und Lichtschwingungen wird gegenwärtig allgemein ein voller Hin- und Hergang, oder wenn die Bewegung in kreisförmigen, elliptischen u. a. Bahnen erfolgt, der ganze Umlauf als eine ganze Schwingung, oder kurzweg als eine Schwingung bezeichnet. Der Ausdruck Schwingungszahl bedeutet daher auch die Anzahl der ganzen Schwingungen, welche in einer Sekunde erfolgen. Die Schwingungszahlen (H) der durch Transversalschwingungen der Saiten hervorgebrachten Töne hängen ab von der Länge (L), der Dicke oder dem Durchmesser (D), dem specifischen Gewicht (S) und von der Spannung (K) der Saiten, und zwar in der Art, wie es folgende, durch die Theorie des Pendels und durch die Erfahrung begründete Formel angiebt:

$$H : h = \frac{\sqrt{K}}{LD\sqrt{S}} : \frac{\sqrt{k}}{ld\sqrt{s}}$$

d. h. die Schwingungszahlen zweier Saiten von demselben specifischen Gewicht verhalten sich zu einander, wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften, dividiert durch die Produkte aus den Längen und den Durchmessern der Saiten. Also die Schwingungszahlen zweier Saiten aus demselben Stoff von gleicher Dicke und gleicher Spannung ($K = k$, $S = s$ und $D = d$) verhalten sich umgekehrt wie ihre Längen zu einander, d. h. die halb so lange Saite giebt die doppelte Schwingungszahl &c., so wie bei gleicher Länge und gleicher Spannung ($L = l$, $S = s$ und $K = k$) umgekehrt wie die Dicken, d. h. die halb so dicke Saite giebt einen doppelt so hohen Ton u. s. w., und endlich bei gleicher Länge und gleicher Dicke ($L = l$, $S = s$ und $D = d$) wie gerade die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften, d. h. die durch viermal so große Gewichte gespannte Saite giebt die doppelte Schwingungszahl u. s. w. Eben so folgt aus jener Hauptformel, daß Saiten von gleichen Längen, Dicken und Spannungen einerlei Töne geben, so wie auch nach der Proportionslehre das Verhältnis der Schwingungszahlen anzugeben ist,

wenn von Länge, Dicke, Gewicht und Spannung bei den Saiten nur immer das Eine gleich gedacht wird.

Eine Messing-Saite giebt einen tiefern Ton als (wenn K. L. D. gleich sind) die Darm-Saite. Der tiefste, in der Musik noch brauchbare Ton ist derjenige, der durch 16, und der höchste derjenige, der durch 4096 ganze Schwingungen in einer Sekunde entsteht. Jener Ton ist das C einer offenen Orgelpfeife von 10,4 m Länge; dieser das sogenannte fünf Mal gestrichene c. Savart nimmt an, daß der tiefste wahrnehmbare Ton durch 7, der höchste durch 24000 Schwingungen in einer Sekunde hervorgebracht werde. — Wie beim Pendel ist die Schwingungsdauer (t) fast unabhängig von der Weite der Schwingung: der Ton einer Saite bleibt bis zum Verschwinden gleich, wenn auch die Schwingungen immer kleiner werden.

$$t = \frac{DL}{2} \sqrt{\frac{\pi \, . \, S}{2g \, . \, K}}$$

2) Eine und dieselbe Saite kann aber auf eine doppelte Art transversal schwingen, nämlich als Ganzes und in aliquoten Teilen. Im ersten Falle umfaßt die Schwingung die ganze Länge der Saite, so daß sich also alle Punkte derselben, die Endpunkte ausgenommen, gleichzeitig auf derselben Seite ihrer ursprünglichen geraden Lage befinden; im zweiten Falle teilt sich die Saite in mehrere gleiche Teile, von denen jeder für sich nach denselben Gesetzen transversal schwingt, doch so, daß je zwei benachbarte Teile nach entgegengesetzten Richtungen gleichzeitig schwingen; erheben sich also bei einer horizontalen Lage der Saite der 1., 3., 5. Teil, so senken sich zu derselben Zeit der 2., 4., 6. Teil. Die Punkte, von denen aus die benachbarten Teile nach entgegengesetzten Seiten schwingen, also die Endpunkte der gleichen Teile, sind ruhende oder schwingungslose Punkte und heißen Schwingungsknoten. Schwingt die Saite als Ganzes, so giebt sie ihren möglichst tiefen Ton an, den Grundton; schwingt sie dagegen in aliquoten Teilen, so giebt sie einen desto höheren Ton an, in je mehr gleiche Teile sie sich geteilt hat.

Das hier Gesagte läßt sich mittelst des Monochords (Einsaits) oder Sonometers (Klangmessers) zeigen. — Wie macht man es, damit die Saite 2, 3, 4 Schwingungsknoten erhalte? Wie zeigt man durch rechtwinklig gebogene Papierschnitzchen das Vorhandensein der Schwingungsknoten? Wind- oder Aeolsharfe. Die Flageolettöne beweisen das Tönen der Saiten in aliquoten Teilen. — Eine Saite kann auch als Ganzes und in aliquoten Teilen zugleich schwingen und dadurch mehr als einen Ton angeben (Hauptton und Nebenton). Dieser Fall ist nach Helmholtz bei weitem der häufigste; die stets höheren und mit dem Grundton harmonisch zusammenklingenden Neben- oder Obertöne sind meistens zu schwach, um durch das Gehör unmittelbar unterschieden werden zu können; durch das Auftreten zahlreicher Obertöne zugleich mit dem Grundtone ist die Schönheit und Klangfülle des Tones hauptsächlich bedingt, welchen ein Saiteninstrument bietet. Auch bei anderen musikalischen Instrumenten treten ähnliche Fälle ein. — Schwingende Stäbe. — Die Stimmgabel, welche nach Chladni als ein gebogener, in drei aliquoten Teilen schwingender Stab zu betrachten ist, deren zwei Schwingungsknoten in der Krümmung nahe bei einander liegen, schwingt für gewöhnlich so, daß sich ihre Zinken abwechselnd nach innen oder außen bewegen.

3) So wie die ganze Saite den Grundton angiebt, so entspricht auch jedem Teile derselben ein bestimmter Ton. Die Hälfte einer

Saite giebt bei unveränderter Spannung nach dem Gesetze der Tonhöhen einen höhern Ton, indem sie doppelt so schnell schwingt, als die ganze Saite. Der zur Hälfte der Saite gehörende Ton heißt die **Oktave** und seine Schwingungszahl ist die doppelte des Grundtones. Ist also des Grundtones Saitenlänge gleich 1 und wird seine Schwingungszahl gleich 1 gesetzt, so ist die Saitenlänge der Oktave gleich 1/2 und deren Schwingungszahl 2. Zwischen den Saitenlängen 1 und 1/2 liegen aber unzählig viele andere, welche durch immer kleiner werdende echte Brüche zwischen 1 und 1/2 ausgedrückt sind; dazu gehören eben so unzählig viele Töne, deren Schwingungszahlen wachsende unechte Brüche zwischen 1 und 2 bezeichnen. Unter den zwischen dem Grundtone und der Oktave liegenden unzählig vielen Tönen giebt es sechs, welche, mit ihnen in natürlicher Ordnung gehört, dem Ohre eine gewisse Befriedigung gewähren. Die Namen dieser acht Haupttöne, welche die **Tonleiter** oder **Skala** heißen, ihre Schwingungszahlen und die ihnen entsprechenden Saitenlängen giebt folgendes Schema an:

Grundton.	Sekunde.	gr. Terz.	Quart.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Oktave.	Namen,
C,	D,	E,	F,	G,	A,	H,	c,	
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2	Schwingungszahlen,
1	8/9	4/5	3/4	2/3	3/5	8/15	1/2	Saitenlängen,

d. h. die Schwingungszahlen des Grundtones und der Sekunde verhalten sich zu einander wie 8 : 9, des Grundtones und der gr. Terz wie 4 : 5 u. s. w.; oder macht der Grundton 8 Schwingungen, so macht die Sekunde deren 9 in derselben Zeit; macht der Grundton 4, so macht die gr. Terz 5 u. s. w.; ferner verhalten sich die Saitenlängen des Grundtones und der Sekunde zu einander wie 9 : 8, des Grundtones und der gr. Terz wie 5 : 4 u. s. w.; oder ist die Saite des Grundtones 90 cm lang, so ist die der Sekunde 80 cm lang; hat die des Grundtones 50 cm Länge, so muß die der gr. Terz 40 cm lang sein u. s. w. Drückt man diese zwei Zahlenreihen in ganzen Zahlen aus, indem man die Brüche gleichnamig macht und ihre Nenner, da es sich hier nur um Verhältnisse handelt, ausläßt, so erhält man folgende Verhältnißzahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c	
24	27	30	32	36	40	45	48	Schwingungszahlen,
180	160	144	135	120	108	96	90	Saitenlängen.

Wenn die Saite am Monochorde statt in 180 z. B. in 192 geteilt wird, so folgen die Saitenlängen so auf einander:

192, $170\frac{2}{3}$, $153\frac{3}{5}$, 144, 128, $115\frac{1}{5}$, $102\frac{2}{5}$, 96;

denn 180 : 160 = 192 : x, ferner

180 : 144 = 192 : x u. s. w.

Die Oktave läßt sich als neuer Grundton betrachten und die Oktave derselben ebenfalls u. s. w. In jeder neuen Reihenfolge von 8 Tönen bleiben die Verhältnisse der Schwingungszahlen unverändert dieselben, stets in Bezug auf den zugehörenden Grundton; in Bezug auf c würde also:

die Tonleiter sein:	c,	d,	e,	f	g,	a,	h,	c,
die Schwingungszahlen:	2,	$^9/_4$	$^5/_2$	$^8/_3$	3	$^{10}/_3$	$^{15}/_4$	4,
die Saitenlängen:	$^1/_2$	$^4/_9$	$^2/_5$	$^3/_8$	$^1/_3$	$^3/_{10}$	$^4/_{15}$	$^1/_4$.

Das Verhältnis der Schwingungszahlen zweier Töne nennt man das *Intervall* dieser Töne; die Bestimmung der Intervalle für je zwei auf einander folgende Töne in der Tonleiter ergiebt folgendes Resultat:

$$C : D = 24 : 27 = 8 : 9 = {}^9/_8$$
$$D : E = 27 : 30 = 9 : 10 = {}^{10}/_9;$$

eben so führt $E : F$ auf $^{16}/_{15}$
$F : G$ — $^9/_8$
$G : A$ — $^{10}/_9$
$A : H$ — $^9/_8$
$H : c$ — $^{16}/_{15}$,

woraus hervorgeht, daß die ganze Tonleiter nur drei verschiedene Intervalle enthält, nämlich $^9/_8$ als Intervall eines *großen ganzen Tones*, $^{10}/_9$ eines *kleinen ganzen Tones* und $^{16}/_{15}$ eines *halben Tones*. Zwischen die Töne, deren Intervall einem ganzen Tone entspricht ($^9/_8$, $^{10}/_9$), wird ein halber Ton eingeschaltet, also an 5 Stellen, d. i. zwischen C und D, D und E, F und G, G und A und zwischen A und H (cis, es, fis, gis, b), wodurch die so vervollständigte Tonleiter 8 + 5 = 13 Töne erhält. Sie heißt die *chromatische* Tonleiter, die ursprüngliche, nur aus 8 Tönen bestehende dagegen die *diatonische*.

Außerdem hat jeder Grundton eine *harte* oder Dur-Tonleiter und eine *weiche* oder Moll-Tonleiter, die sich von einander dadurch unterscheiden, daß bei der letztern die Terz etwas niedriger ist, als bei der erstern, weshalb sie auch kleine Terz heißt (es niedriger als e). Aus der bisher betrachteten Dur-Tonleiter erhält man die Tonverhältnisse für die Moll-Tonleiter, wenn man sie um eine Oktave fortführt, das A zum Grundton annimmt und bis zur Oktave a fortführt:

C	D	E	F	G	A	H	c	d	e	f	g	a	h	c
24	27	30	32	36	40	45	48	54	60	64	72	80	90	96.

Die Moll-Tonleiter:	A	H	c	d	e	f	g	a
	40	45	48	54	60	64	72	80
	1	$^9/_8$	$^6/_5$	$^{27}/_{20}$	$^3/_2$	$^8/_5$	$^9/_5$	2.

Den halben Ton erhält man, indem man die Schwingungszahl des niedrigern mit $\frac{16}{15}$, des höhern mit $\frac{15}{16}$ multipliziert: für cis $48 \cdot \frac{16}{15} = 51^1/_5$ und des $54 \cdot \frac{15}{16} = 50^5/_8$; also findet zwischen cis und des — für welche auf dem Klavier nur *eine* Clavis — eine kleine Verschiedenheit statt.

Zwei gleichzeitig gehörte Töne bilden eine Konsonanz oder eine Dissonanz, je nachdem sie eine angenehme oder unangenehme Empfindung hervorbringen. Je öfter die Schwingungen zweier Töne zusammenfallen, durch je kleinere Zahlen ihr Intervall also ausgedrückt wird, desto mehr konsonieren sie. Die Moll-Tonart hat daher weniger Konsonanzen mit dem Grundton als die Dur-Tonart. Es konsonieren z. B.:

C und c (1 : 2) — C und E (4 : 5, große Terz)
A c oder E G (5 : 6, kleine Terz) — C und G (2 : 3)
C und F (3 : 4) — C und A (3 : 5) 2c.,

aber es dissonieren z. B.:

C und D (8 : 9) — C und H (8 : 15) 2c.

Mehrere Töne bilden einen Accord, der wieder konsonierend oder dissonierend ist, je nachdem es die Intervalle der ihn bildenden Töne sind. Konsonierende Accorde sind:

der große Dreiklang oder der C-dur-Accord C, E, G (4 : 5 : 6),

der kleine Dreiklang oder der C-moll-Accord C, Es, G (10 : 12 : 15).

Bei den Dur-Tonarten ist der Dreiklang also durch den Grundton, die große Terz und die Quinte, bei den Moll-Tonarten dagegen durch den Grundton, die kleine Terz und die Quinte gebildet. Dort ist das Intervall zwischen der großen Terz und der Quinte eine kleine Terz (5 : 6); hier zwischen der kleinen Terz und der Quinte dagegen eine große Terz (4 : 5).

Die acht Oktaven, welche die Musik umfaßt, werden mit den hier gebrauchten Buchstaben, teils des großen, teils des kleinen Alphabets mit Strichen, teils unten, teils oben, und ohne Striche bezeichnet. Die aufgestellten Zahlen (1, $^9/_8$, $^5/_4$ 2c.) geben nur die relativen Schwingungszahlen der Töne für jede Oktave an, die absoluten lassen sich jedoch mit ihrer Hülfe bestimmen, wenn die wirkliche Schwingungszahl von nur irgend einem bestimmten Tone, durch Versuche (durch das Monochord oder die Sirene [§ 142] ausgemittelt worden ist. Man giebt für die absoluten Schwingungszahlen folgende Reihe an, deren tiefstes C der Ton einer 32füßigen, (§ 140, 1) offenen Orgelpfeife ist, und deren zweites C das Kontra-C heißt:

$\underline{\underline{C}}$	$\underline{C}$	C	c	$\overline{c}$	$\overline{\overline{c}}$	$\overline{\overline{\overline{c}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}$
16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096.

Für das $\overline{a}$ oder die a-Saite der Violine folgt aus dieser Reihe, wegen $\overline{c} : \overline{a} = 1 : {}^5/_3$ oder $256 : \overline{a} = 1 : {}^5/_3$, als Zahl der Schwingungen 426,6; aber $\overline{a}$ macht nach der Stimmung des Berliner Theaters 437, der großen Oper zu Paris 431, der italienischen Oper zu Paris 424 und nach Scheibler's Messungen 443,56 solche Doppelschwingungen.

Die Orgeln reichen gewöhnlich nur bis zum drei Mal gestrichenen c. Bei einem Flügel, welcher vom Kontra-F bis zum vier Mal gestrichenen a reicht, würde also der tiefste Ton hervorgebracht durch $42^2/_3$, der höchste durch $3413^1/_3$ Schwingungen in der Sekunde. — Die nähere Auseinandersetzung der Tonarten, der Tonleiter, der gleich- und ungleich schwebenden Temperatur u. s. w. gehört in die Theorie der Musik.

4) Eine Saite wird in Longitudinalschwingungen versetzt, wenn man sie mittelst eines Bogens unter einem sehr spitzen Winkel streicht. Die Schwingungen bestehen in abwechselnden Verdichtungen und Ausdehnungen, oder in Verkürzungen und Verlängerungen der Saite in der Richtung ihrer Länge. Der Ton ist meist scharf und unangenehm; desto niedriger, je länger die Saite ist. Auch hier giebt es nach Weber und Savart Schwingungsknoten.

Glasstäbe und Glasröhren setzt man in Längenschwingungen durch Reiben mittelst eines nassen, wollenen oder seidenen Zeuges längs der Länge derselben. Die Knotenpunkte lassen sich entdecken, wenn der horizontal gehaltene Stab in der einen Hälfte gerieben wird, während die andere mit einigen leicht beweglichen Papierringen behangen ist.

141. 1) Klingende Gläser oder metallene Scheiben (regelmäßige Drei-, Vier-, Fünfecke, Kreise 2c.) sind hinsichtlich ihrer Schwingungen klingenden Saiten, wenn sie sich in gleiche Teile teilen, sehr ähnlich. So wie diese: ruhende Punkte Schwingungsknoten haben, so haben jene: ruhende Linien Knotenlinien, von denen aus die Scheibenteile nach entgegengesetzten Seiten transversal, d. h. hier nach, auf der Scheibe senkrechten, Richtungen schwingen. Die Knotenlinien bilden meist Figuren mannigfaltiger Art, wie Sterne mit mehr oder weniger Strahlen, Kreise mit und ohne Diameter, Parallellinien, geschnitten durch Parallellinien u. s. w. Man nennt diese Figuren Klangfiguren oder, nach Chladni (1787), die Chladni'schen Figuren. Gehler VIII. Fig. 49—123.

Hervorgebracht und dem Auge sichtbar dargestellt werden diese Figuren am besten, indem man die mit gewöhnlichem, nicht staubartigem Streusande bestreute Scheibe, wenn sie nicht zu groß ist, blos mit zwei Fingern, sonst mittelst einer Doppelschraube, an einer Seite festhält, und sie an einer anderen Stelle des Randes mit einem wohlgeharzten Violinbogen senkrecht streicht. Die Versuche, bei denen man sich statt des Sandes einer dünnen Wasserschichte auf einzelnen Teilen, oder nur Wassertropfen auf einzelnen Stellen der Scheibe bedient, sind sehr interessant. Wird eine Glasröhre, in welcher längs der Länge Sand liegt, horizontal gehalten und mit befeuchteten Lappen gerieben, so ordnet sich der Sand zu schraubenförmig gewundenen Knotenlinien. Strehlke schließt aus seinen Versuchen, die Knotenlinien seien immer gekrümmt und durchschnitten sich nicht; die geraden Linien seien nämlich Äste hyperbolischer Kurven, das Durchschneiden aber nur scheinbar, indem, wo die Knotenlinien einander am nächsten kommen, die Schwingungen so schwach wären, daß durch sie der Sand nicht fortbewegt werden könnte.

2) Die Figur wird bestimmt durch die Höhe des Tones, welche nicht nur von der Größe, der Dicke und der Schwere der Scheibe, sondern auch einerseits von der durch das Halten gedämpften und andererseits von der gestrichenen Stelle abhängt. Bei Scheiben von verschiedener Beschaffenheit gehören zu demselben Tone verschiedene

Figuren; dagegen ist bei derselben Scheibe mit jedem bestimmten Tone auch eine bestimmte Figur verknüpft, die nicht eher vollständig und scharf begrenzt erscheint, als bis der Ton selbst ganz rein klingt. Dabei ist die Figur desto zusammengesetzter, je höher, und umgekehrt, desto einfacher, je niedriger der Ton ist.

Die Abhängigkeit der Figur vom Tone tritt am sichtbarsten hervor, wenn beim Streichen der Scheibe der Ton sich plötzlich ändert; entweder weil der Experimentator nicht gleichmäßig stark den Bogen andrückte oder damit abglitt u. s. w.; man sieht dabei eine Figur in die andere übergehen. — Glocken und runde, mit Wasser gefüllte Gefäße. — Wird in letzteren das Wasser mit Blütenstaub bestreuet und der Rand des Glases mittelst eines Violinbogens gestrichen, so bilden sich in dem Blütenstaube Figuren. Da die Elasticität mancher Körper nach verschiedenen Richtungen verschieden ist, so kann sich bei sonst gleichen Scheiben, hinsichtlich der Materie und der Form, und bei gleicher Behandlung derselben, doch eine Verschiedenheit in den Tönen und Klangfiguren zeigen, wie aus Savart's Versuchen hervorgeht. Aus solchen akustischen Versuchen lassen sich Schlüsse auf die Elasticität der Krystalle u. s. w. nach verschiedenen Richtungen machen.

142. 1) Von den luftförmigen Körpern betrachten wir hier in Bezug auf den Schall nur die atmosphärische Luft, und zwar zunächst in ihren regelmäßigen Schwingungen, wie sie sich vorzüglich bei den Blase-Instrumenten darstellen, sodann als Fortpflanzungsmittel des Schalles überhaupt. Durch die Berührung eines klingenden, festen Körpers mittelst der Hände wird der Ton desselben sogleich verändert und durch Festhalten zum Aufhören gebracht; ein Zeichen, daß er in seinen Schwingungen gestört worden ist. Wird aber ein eben geblasenes Instrument in noch so vielen Punkten berührt, so bemerkt man in der Höhe des Tones nicht die geringste Änderung, und man schließt daraus mit Recht, daß nicht die Materie, aus welcher das Instrument verfertigt ist, sondern die darin enthaltene Luft der tönende Körper sei, und dieses um so sicherer, wenn man erst bemerkt, daß die Höhe des Tones von der Länge der Luftsäule abhängt, und daß selbst aus sonst zu Schwingungen wegen eines besonders niederen Grades von Elasticität wenig geeigneten Materien, wie Blei, recht gut tönende Pfeifen verfertigt werden; doch hat die Beschaffenheit des Materials einen Einfluß auf die Eigentümlichkeit des Klanges, die sogenannte Klangfarbe. Silberne Trompeten. Doch die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule sind Longitudinalschwingungen, die in abwechselnden, schnell auf einander folgenden Verdichtungen und Verdünnungen bestehen. Auch hier kommen Schwingungsknoten vor; je mehr sich deren bilden, desto höher ist der Ton. Die zur Hervorbringung der Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule nötigen Stöße werden auf zwei Hauptarten unter verschiedenen Modifikationen hervorgebracht, nämlich entweder durch einen hineingeblasenen, dünnen Luftstrom; oder durch ein im Innern der Pfeife sich befindendes und in Vibration versetztes, elastisches Blättchen; worüber die weiteren Betrachtungen das Nähere angeben werden.

Bei der chemischen Harmonika werden die Stöße ausgeübt durch die Verpuffungen des Knallgases; beim Trevelyan-Instrumente, Thermophon,

durch die Schwankungen des erhitzten Wiegers auf der kalten bleiernen Unterlage verursacht. — Die Sirene von Cagniard de Latour, in welcher ein Luftstrom dadurch, daß die Röhre, in welcher er stattfindet, in schnell und regelmäßig auf einander folgenden Zeitintervallen abwechselnd geschlossen und geöffnet wird, Stöße auf die äußere Luft ausübt und sie dadurch zum Tönen bringt, ist ein besonders für die Tonlehre wichtiges Instrument. Sie wird gebraucht, zu zeigen, 1) daß Stöße die regelmäßig und mit einer gewissen Geschwindigkeit auf einander folgen, Töne hervorbringen, 2) daß die Töne desto höher sind, je schneller die Aufeinanderfolge der Stöße ist, 3) kann man durch sie die absoluten Schwingungszahlen der Töne bestimmen.

Wie die Chladni'schen Figuren durch die bewegten und ruhenden Teile der Scheibe hervorgerufen werden, so die später entdeckten Oersted'schen Figuren durch die Bewegung der Luft über der vibrierenden Scheibe, welche auf die sie umgebende Luft notwendig bewegend wirken muß. Wird nämlich eine Scheibe mit Bärlappsamen bestreut und darauf zum Tönen gebracht, so entsteht ein Tanz desselben über den bewegten Stellen der Scheibe; die Partikelchen erheben sich, bilden einen Staubwirbel, der beim Aufhören der Schwingungen der Scheibe auf dieselbe in kreisförmigen Häufchen niederfällt.

2) Man unterscheidet zwei Hauptarten von Pfeifen, nämlich Lippenpfeifen und Zungenpfeifen. In jenen wird die eingeschlossene Luft durch Hineinblasen eines schmalen Luftstromes in tönende Schwingungen gebracht, in diesen dagegen setzt ein hineingeblasener Luftstrom zunächst ein elastisches Blatt in Schwingungen, welche sich der eingeschlossenen Luftsäule mitteilen. In jenen tönt also nur ein Körper, die eingeschlossene Luftsäule; in diesen aber tönen zwei Körper, das elastische Blatt und die eingeschlossene Luftsäule.

Die Lippenpfeifen sind doppelter Art, je nachdem sie mit Seitenöffnungen versehen sind oder nicht, und die letzteren sind wieder entweder an beiden Enden offen oder nur an einem, weshalb wir offene und gedeckte Lippenpfeifen unterscheiden.

Zu den Lippenpfeifen gehören auch die Orgelpfeifen, welche Flötenwerke heißen. Eine solche Orgelpfeife besteht aus dem Fuße und der eigentlichen Pfeife; jener Teil ist kegelförmig, dieser cylindrisch oder prismatisch, oder sie sind beide prismatisch. Zwischen beiden ist eine Scheidewand, die nur einen Spalt offen läßt, über welchem sich von außen ein Einschnitt in das Instrument, das sogenannte Mundloch, befindet, dessen beide nach innen gebogene Ränder, Lippen, die obere und die untere, heißen. Wird nun mittelst eines Blasebalges Luft in den Fuß geblasen, so tritt diese als Luftstrom durch den Spalt, bricht sich an der oberen Lippe so, daß ein Teil zum Mundloch nach außen tritt, der andere aber als dünne Luftschichte in die eigentliche Pfeife dringt und deren Luftsäule in Schwingungen versetzt.

Ist die Pfeife gedeckt, so giebt sie ihren tiefsten Ton an, wenn die eingeschlossene Luftsäule in ihrer ganzen Ausdehnung schwingt, was bei schwächerem Anblasen geschieht; sie giebt aber höhere Töne an, wenn sie in aliquoten Teilen schwingt; wenn also Schwingungsknoten entstehen, was durch stärkeres Anblasen hervorgebracht wird. Bei Pfeifen verschiedener Länge verhalten sich die Höhen der entsprechenden tiefsten Töne umgekehrt wie die Längen der Pfeifen; Pfeifen, deren Längen

durch 1, 1/2, 1/3, 1/4 ausgedrückt werden, geben also den Grundton, die Oktave, die Quinte von dieser Oktave und die doppelte Oktave, z. B. C, c, g, c̄.

Eine offene Pfeife, mäßig angeblasen, giebt als tiefsten Ton die Oktave von dem tiefsten Tone einer eben so langen gedeckten Pfeife; woraus wir den Schluß ziehen, daß bei den offenen Pfeifen die eingeschlossene Luft niemals als Ganzes, sondern immer in aliquoten Teilen schwingt: bei dem tiefsten Tone schon in zwei Teilen, so daß sich also in der Mitte ein Schwingungsknoten bildet, und man sich die offene Pfeife gleichsam aus zwei gedeckten bestehend denken kann. Sollten mithin die tiefsten Töne einer offenen und einer gedeckten Pfeife einander gleich sein, so muß die offene doppelt so lang sein, als die gedeckte. Bei verstärktem Anblasen schwingt die Luftsäule in mehreren aliquoten Teilen, es bilden sich mehrere Schwingungsknoten, wodurch höhere Töne zum Vorschein kommen.

Um eine größere Mannigfaltigkeit der Töne durch Verkürzung und Verlängerung der schwingenden Luftsäule hervorzubringen, dienen bei einigen Blase-Instrumenten die Seitenöffnungen, welche nach Erfordernis durch Finger oder Klappen geschlossen und geöffnet werden können, z. B. bei den Klarinetten und Flöten — bei anderen ausziehbare Teile, z. B. bei der Posaune — noch bei anderen verschiedene Mundstücke, z. B. bei dem Waldhorn, bei welchem außerdem zu diesem Zwecke die Mündung mittelst der Hand in verschiedenen Graden verengt und verkürzt wird. Bei den Blase-Instrumenten mit Seitenöffnungen reicht die Länge der schwingenden Luftsäule immer vom Mundloche bis zu der ersten nicht geschlossenen Öffnung.

Außer der Länge der schwingenden Luftsäule und der Stärke des Anblasens hängt die Höhe des Tones auch noch ab von der Art des Anblasens, so wie von der Größe und Lage des Mundloches.

Die sich vom Mundloche an erweiternden offenen Pfeifen geben einen höheren, die sich verengenden dagegen einen tieferen Ton, als gleich lange Pfeifen von überall gleicher Weite, so wie eine zum Teil gedeckte Pfeife einen höheren Ton, als eine gleich lange ganz gedeckte; und einen tieferen, als eine gleich lange offene Pfeife giebt. Wird daher eine offene Pfeife auch nur mit der Hand ganz, dann zum Teil gedeckt und endlich offen gelassen und jedesmal angeblasen, so hört man drei ihrer Höhe nach aufsteigende, so wie beim entgegengesetzten Verfahren natürlich herabsteigende Töne. — Eine offene Orgelpfeife wird gestimmt durch eine bewegliche Klappe am freien Ende; sie wird mehr geöffnet, wenn der Ton erhöht, und mehr geschlossen, wenn der Ton erniedrigt werden soll — eine gedeckte Pfeife wird dagegen gestimmt durch den beweglichen, sie schließenden Pfropfen; er wird herabgedrückt oder heraufgezogen, je nachdem der Ton erhöht oder erniedrigt werden soll.

In den Zungenpfeifen kann die Zunge verschieden befestigt sein. Die Zungenpfeifen der Orgeln (Schnarrwerk) bestehen aus zwei Röhren, von denen die eine mit einem Fuße versehen ist und zwischen denen sich der das eigentliche Zungenwerk enthaltende Teil, der Stopfen, befindet. Das Zungenwerk selbst besteht aus drei Teilen: der Rinne, einer prismatischen oder cylindrischen Röhre, die in der einen Längenrichtung offen ist — der Zunge, welche diese Öffnung

schließt, und dem Stimmdrahte, durch dessen Bewegung der vibrierende Teil der Zunge verlängert und verkürzt werden kann. Der durch den Fuß der Pfeife eintretende Luftstrom eines Blasebalges wirkt auf die Zunge, bringt sie aus ihrer, die Rinne schließenden Lage und tritt durch die Rinne aus der Pfeife, während die Zunge in Folge ihrer Elasticität in die ursprüngliche Lage zurückkehrt. Diese Erfolge wiederholen sich bei fortdauerndem Luftstrome und die Zunge wird hierdurch in Schwingungen erhalten. Die Höhe des Tones wird hier vorzugsweise durch die Schwingungen der Zunge bestimmt.

Die blechernen Kindertrompeten. — Bei den Klarinetten, Fagotten, Hoboen verursachen die Blättchen der Mundstücke das Schnarren. — Bei der sogenannten Maultrommel wird die Luft in die Mundhöhle, die durch die Bewegung der Zunge, der Backen ꝛc. vergrößert und verkleinert werden kann, mittelst der stählernen Zunge in Schwingungen gesetzt, und wohl bald mit mehr, bald mit weniger Schwingungsknoten. — Harmonika. — Das Pfeifen mit dem Munde wird dadurch hervorgebracht, daß die aus- und einströmende Luft die Lippen und den Luftinhalt der Mundhöhle in Schwingungen versetzt, welche sich der umgebenden Luft mitteilen.

Das Stimmorgan des Menschen besteht aus dem Kehlkopfe, dem oberen Teile der aus elastischen Knorpeln bestehenden Luftröhre, dem Schlunde und dem Munde; am Kehlkopfe befinden sich die Stimmbänder, zwei dünne Häutchen, welche die Luftröhre bis auf eine schmale Spalte, die Stimmritze, schließen. Besondere Muskeln können die Bänder verschieden stark spannen und dadurch die Stimmritze verschieden stark erweitern. Die Luft tritt aus der Lunge wie aus einem Blasebalge in die Luftröhre, wird mehr oder weniger gewaltsam durch die Stimmritze getrieben, wodurch die Bänder in Schwingungen geraten, die wieder die Luft im Schlunde in Schwingungen versetzen, wodurch ein Ton erzeugt wird, der durch die Erweiterungen und Verengungen des Schlundes, durch die Bewegung der Zunge, durch das Öffnen und Schließen des Mundes in verschiedenen Graden, durch die Nase ꝛc. zur Stimme sich gestaltet. Helmholtz (1858) hat nachgewiesen, daß die Vokale der menschlichen Stimme durch je einen oder zwei Töne erzeugt werden, und hat einen Apparat konstruiert, durch welchen die Laute der Vokale künstlich hervorgebracht werden können — Frauen und Kinder haben einen kleineren Luftröhrenkopf und eine kürzere Stimmritze, daher eine höhere Stimme. — Die Stimme der berühmten Catalani umfaßte drei und eine halbe Oktave; sonst heißt eine Stimme von drei Oktaven schon eine umfangreiche. — In der Fingalshöhle auf der Insel Staffa an Schottlands Westküste hört man oft Töne, wahrscheinlich dadurch bewirkt, daß, indem das Meer steigt, Wasser eindringt und die Luft durch kleine Öffnungen heraustreibt. — Vielleicht waren die Töne der Memnonssäule in Ägypten Folge der durch die aufgehende Sonne erwärmten und in Folge der Ausdehnung ausströmenden inneren Luft. — Bei derselben Länge schwingender Saiten und Luftsäulen entstehen in warmer Luft und im Wasserstoffgase höhere Töne, als in kalter Luft und dichteren Gasen.

143. Ein Schall besteht für uns nur insofern, als er in unser Ohr gelangt. Das geschieht, indem der schallende Körper einem andern, schwingungsfähigen Körper, der einerseits mit ihm und andererseits mit unseren Gehörwerkzeugen in unmittelbarer Berührung steht, seine Schwingungen mitteilt. Es muß also ein Träger oder Leiter des Schalles von seinem Entstehungsorte an bis zum Ohre da sein. Solche Schalleiter sind die Körper aller Aggregatsformen; der gewöhnlichste ist die atmosphärische Luft, bessere aber die meisten festen und flüssigen

Körper; wenn sie auch, mit einander verglichen, wieder verschieden stark und schnell den Schall fortleiten.

Das Ticken einer auf das eine Ende eines langen Holzbalkens gelegten Taschenuhr hören wir sehr deutlich, indem wir das Ohr an das andere Ende legen, während wir in derselben Entfernung, wenn die Uhr frei gehalten und das Ohr nicht an den Balken gelegt wird, nichts hören. — Wir legen uns mit dem Ohr auf die Erde, um entfernte Kanonaden, entferntes Glockengeläute u. s. w. besser zu hören; so wie wilde Völker sich auf die Erde werfen, um die Fußtritte ihrer Feinde zu hören. — Ein silberner Löffel, an das freie Ende eines mittelst der Zähne festgehaltenen oder um den Kopf gebundenen Fadens festgemacht, giebt, wenn er, indem die Ohren fest zugestopft werden, an einen festen Körper bewegt wird, einen auffallend starken, glockenartigen Ton. — Wird das eine Ohr fest zugehalten und eine angeschlagene Stimmgabel an irgend eine Stelle des Kopfes, ja selbst an das offene Ohr gesetzt, so hört man doch immer den Ton durch das zugehaltene Ohr. — Daß die festen Köper den Schall auch schneller als die Luft fortleiten, beweisen unter anderen Biot's und Gay-Lussac's schöne Versuche mit den fast 1000 m langen gußeisernen Wasserleitungsröhren in Paris, die den Schall fast mit 3452 m Geschwindigkeit fortpflanzen, also etwa 10 mal schneller als die Luft (§ 144). — Eine unter Wasser geläutete Glocke wird in der Luft gehört; Schwimmer und Taucher hören unter Wasser; Fische haben Gehörwerkzeuge, auch lassen sie sich, wenn sie zahm sind, durch Glöckchen heranlocken. Nach den von Colladon und Sturm auf dem Genfer See angestellten Versuchen verbreitet das Wasser den Schall mit 1385 m Geschwindigkeit, also etwa 4 mal schneller, als die Luft. Auch im Wasserstoffgase ist nach Dulong die Schallgeschwindigkeit über 2 mal größer, als in der Atmosphäre.

144. Die näheren Umstände der Fortpflanzung des Schalles in der Luft, als dem gewöhnlichsten und wohlthätigsten Fortpflanzungsmittel, da sie sowohl Stärke als Geschwindigkeit des Schalles auf eine unserm Ohre wohlthätige Art mäßigt, sind uns am wichtigsten.

1) Die Luft pflanzt den Schall fort, und zwar desto schwächer, je verdünnter sie ist, wie sich das schon durch die Luftpumpe zeigen läßt (§ 134, 14). Was die Art der Fortpflanzung anbetrifft, so betrachten wir sie als eine Wellenbewegung durch auf einander folgendes Zusammendrücken und Ausdehnen, oder Verdichten und Verdünnen der um den schallenden Körper sich befindenden Luft; nicht wesentlich verschieden von den Längenschwingungen der Luftsäule in Blase-Instrumenten; denn indem diese in der Atmosphäre nach allen Seiten hin stattfinden, da wir den Schall überall hören, entstehen eben diese kugelförmigen Luftwellen, die zu vergleichen sind mit den kreisförmigen Wasserwellen (§ 113), die durch einen ins Wasser geworfenen Stein entstehen, nur daß diese aus Erhabenheiten und Vertiefungen, wie Berge und Thäler, jene aber aus Verdichtungen und Verdünnungen der Luft bestehen; es kann auch hier — wie dort durch das Zusammentreffen zweier Wellenberge eine Erhöhung der Welle erfolgt — eine Verstärkung des Tones bewirkt werden. Indem der schallende Körper schwingt, wird die zunächst liegende Luft ringsherum verdichtet; diese verdichtete Luft strebt aber auch sich auszudehnen und bewirkt durch ihre Ausdehnung wieder eine Verdichtung der angrenzenden, außerhalb gelegenen Luft, wodurch eine zweite kugelförmige Luftwelle entsteht ꝛc., so daß also die Fortpflanzung des Schalles in einem Fortschreiten der

Verdichtung und Verdünnung der Luft besteht. Dieser Annahme widerspricht nicht die Vorstellung, daß der Schall in unser Ohr in einer geraden Linie gelangt, welchen Weg wir einen Schallstrahl nennen; er ist eine zur Oberfläche der Schallwelle senkrechte Linie.

2) Der Schall braucht eine gewisse Zeit zur Fortpflanzung, und diese Fortpflanzung geschieht mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Man hat dieses Gesetz gefunden mittelst solcher Versuche, die einen bedeutenden Knall verursachen und zugleich eine starke Lichterscheinung darbieten; sie ergaben nämlich das Resultat, daß der Schall zur Zurücklegung eines doppelt, drei mal so großen Weges auch eine doppelt, drei mal so große Zeit braucht u. s. w.

Man sieht die Axt, den Hammer eines in etwas bedeutender Entfernung arbeitenden Holzhauers oder Schmiedes früher auf das Holz oder den Ambos fallen, als man den Schall hört. — Bei Abfeuerungen von Kanonen fällt das Entstehen des Schalles mit dem Erblicken des Lichtes zusammen, da wir die Verbreitung des Lichtes für alle irdischen Entfernungen als augenblicklich betrachten; dieser Augenblick ist der eine, so wie das Hören des Knalles der andere Grenzpunkt der Zeit, die der Schall zur Zurücklegung des bestimmten Raumes braucht. — Sekunden- und Terzienuhren werden bei solchen Versuchen gebraucht.

Die Geschwindigkeit selbst, als der in einer Sekunde zurückgelegte Weg, ist nun nach der bekannten Formel für die gleichförmige Bewegung $C = \frac{S}{T}$ zu finden. Man kann sie im Durchschnitt auf 330 m annehmen. Auch ist es von selbst einleuchtend, daß die gleichförmige Bewegung des Schalles, wenn die Augenblicke seines Entstehens und Hörens bekannt sind, benutzt werden könne, die Entfernung zweier Örter, wenn auch nur näherungsweise, anzugeben nach der Formel $S = CT$ (§ 33).

Bestimmung der Entfernung zweier Örter durch Signalfeuer. — Beiläufige Bestimmung der Entfernung eines Gewitters aus der Anzahl der Pulsschläge zwischen dem Blitze und dem Donner; man rechnet dabei auf einen Pulsschlag 250 m, auf 30 also 7500 m oder eine Meile.

3) Von wesentlichem Einflusse auf die Geschwindigkeit des Schalles sind die Richtung des Windes, die Feuchtigkeit und die Temperatur der Luft. Der Wind vermehrt und vermindert die Geschwindigkeit des Schalles um seine eigene Geschwindigkeit, je nachdem er in der Richtung, in welcher man den Schall erhält, oder in der entgegengesetzten weht. Nach Goldingham's Versuchen vergrößert die Feuchtigkeit die Geschwindigkeit des Schalles. Die Wärme macht die Luft, indem sie dieselbe ausdehnt, zwar dünner, aber zugleich expansiver, also zur Fortpflanzung des Schalles geschickter. Ein Grad Wärme verändert die Geschwindigkeit des Schalles um 63 cm. Nach Benzenberg's Versuchen beträgt die Geschwindigkeit des Schalles:

315,04 m bei — 12,5° C
322,34 m „ — 0,0° „
329,77 m „ + 12,5° „

337,08 m . . + 25,0° C
351,65 m . . + 37,5° „

Jene in (2) angegebene Geschwindigkeit entspricht also der mittleren Temperatur von + 12,5° C. Die Geschwindigkeit des Schalles ist dagegen unabhängig von der Geschwindigkeit der Schwingungen eines schallenden Körpers, da der tiefe Ton eben so schnell als der hohe fortgepflanzt wird; was schon daraus hervorgeht, daß die taktmäßige Aufeinanderfolge der einzelnen niedrigen und hohen Töne eines Musikstückes genau dieselbe ist, gleichviel ob wir es aus der Nähe oder aus der Ferne hören; während doch notwendig die Harmonie in der Aufeinanderfolge der Töne aufhören müßte, wenn z. B. tiefere Töne später oder früher zu unsern Ohren gelangten, als die höhern.

Um den Einfluß des Windes zu bestimmen, werden von beiden Stationen aus Geschütze abgefeuert und Signale gegeben. Über die Bestimmung der Wellenlänge der Töne bemerken wir folgendes: Jede Schwingung eines tönenden Körpers erzeugt bei + 12,5° C eine Luftwelle, welche sich in einer Sekunde um 330 m fortbewegt, gleichviel ob der Ton hoch oder niedrig ist; nur sind bei jenem die Wellenlängen kürzer als bei diesem, und so viele Schwingungen der Körper in einer Sekunde macht, so viele Wellen folgen auf einander. Soll nun aber die zweite Welle an die Stelle der ersten treten, so muß diese während der Dauer der zweiten Schwingung um eine Wellenlänge fortgeschritten sein; dasselbe gilt von der 3. und 2., von der 4. und 3. u. s. w.; jede Welle wird also in einer Sekunde um so viele Wellenlängen fortschreiten, als die Zahl der Schwingungen des tönenden Körpers in dieser Zeit beträgt. Die Länge der Welle wird daher gefunden, wenn der vom Schalle in einer Sekunde durchlaufene Weg durch die Zahl der Wellen in dieser Zeit dividiert wird; dieser Weg ist aber für alle Töne unverändert 330 m, und die Zahl der Wellen gleich der Zahl der Schwingungen, welche aus § 140 bekannt sind. Es ist daher hiernach die Wellenlänge des wahrnehmbar tiefsten Tones $= \frac{330}{7} = 47$ m, des höchsten $= \frac{330}{24000} =$ 0,01375 m; des a der Stimmgabel $= \frac{330}{440} = \frac{3}{4}$ m etwa, des Kontra-C $= \frac{330}{16} = 20{,}6$ m etwa; des fünfmal gestrichenen c $= \frac{330}{4096} = 0{,}08$ m etwa u. s. w.

4) Die Stärke oder Intensität des Schalles und die davon abhängende Entfernung, bis zu welcher der Schall reicht, ist nicht genau bestimmbar, da es hierbei viele in einander greifende Bestimmungsgründe giebt; hauptsächlich die Größe der schwingenden Masse, die Größe und Geschwindigkeit der Schwingungen, die Dichtigkeit der Luft, die Stille in der Atmosphäre, welche alle im geraden Verhältnisse zur Stärke des Schalles stehen. Hinsichtlich der Abnahme der Stärke des Schalles mit der Entfernung gilt das Gesetz, daß sie abnimmt, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen.

Wenn der Schall sich nicht ausbreiten kann, pflanzt er sich fast ungeschwächt fort. Biot konnte in Röhren der Pariser Wasserleitung bei 942 m Entfernung leise ausgesprochene Worte deutlich verstehen. In kalten Zimmern klingt ein Instrument lauter, als in heißen. — Nach Parry versteht man in den Polargegenden bei kalter Luft eine starke menschliche Stimme auf 2200 m, während sie sonst nur auf 220 bis 250 m Weite hörbar ist. — Bei Nacht ist ein Schall weiter hörbar, als am Tage, wegen der kalten und deshalb dichteren Luft und wegen der größeren Stille in der Atmosphäre; besonders stark tritt dieser Unter-

schied in der heißen Zone hervor. Die Feuchtigkeit vermindert die Expansion der Luft; daher bei feuchter Luft die menschliche Stimme, das Glockengeläute, der Kanonendonner u. s. w. weniger weit gehört werden, als sonst. Ein abgefeuertes Pistol knallt in einer Grube sehr stark, auf hohen Bergen dagegen nur schwach; so wie der Klang einer Glocke in der verdichteten Luft einer Taucherglocke unerträglich ist, und auf hohen Bergen mit einander sprechende Personen desto näher an einander stehen müssen, um sich zu verstehen, je höher jene sind. An langen Mauern und über dem Wasser wird der Schall stärker fortgepflanzt, als in der freien Ebene. Einen Kanonenschuß kann man 20 bis 22 Meilen, einen Flintenschuß an 5021 m, schweres Geschütz und eine Eskadron Kavallerie 753 m weit hören. Den Kanonendonner von Schlachten hat man 30 bis — wohl bei günstigem Winde — 80 Meilen weit gehört.

5) Elastische Körper, welche mit schallenden Körpern verbunden sind, oder sie umgeben, verstärken den Schall, indem sie die Schwingungen annehmen und mittönen; so wie wenig elastische oder auch weiche ihn schwächen oder dämpfen, indem sie die Schwingungen stören.

Resonanzboden, auf dem nach Savart's Versuchen während der Schwingungen der über ihm sich befindenden Saiten Klangfiguren entstehen. Eine Stimmgabel angeschlagen und an einen Resonanzboden mit dem Stiele gehalten, klingt laut, während man sie in der Luft schwach hört. — Dämpfer. — Die eingeflochtenen Tuchstreifen der Klaviersaiten. — Ein Instrument im leeren Zimmer mit leeren Mauern klingt stärker, als wenn die Wände mit doppelten Tapeten behangen sind. — Tiefer Schnee dämpft den Ton der Glocken.

6) Die auf irgend welche Art in der Luft erzeugten Schallschwingungen können wieder auf feste Körper, namentlich elastische Flächen übertragen und von diesen unmittelbar oder auch durch anderweitige Zwischenmittel zur Erzeugung neuer Schallwellen verwendet werden, welche den ursprünglichen durchaus ähnlich sind. Dieser Umstand hat in neuester Zeit zu einigen Erfindungen von Bedeutung geführt, von denen insbesondere der Phonograph und das Telephon hervorzuheben sind. Die Betrachtung des letzteren gehört in das Gebiet der Elektricitätslehre. (S. diese.) Der Phonograph von Edison bewirkt die dauernde Aufzeichnung und beliebige Wiedergabe nicht nur von einfachen Tönen, sondern selbst von deutlich gesprochenen Worten. Derselbe besteht aus einem weiten trichterförmigen Mundstücke, dessen hintere engere Öffnung mit einer elastischen Membran, dem Trommelfelle des Gehörorganes vergleichbar, überspannt ist. Auf diese Membran werden die Schallschwingungen der Luft im Mundstück, welche etwa durch gesprochene Worte hervorgerufen werden, in allen durch Vokale, Consonanten u. s. w. bedingten Verschiedenheiten übertragen. Im Mittelpunkte der kreisförmigen Membran ist auf der Außenseite eine Metallspitze befestigt, welche mit jener schwingt. Der Spitze kann ein drehbarer Metallcylinder beliebig genähert werden, in dessen Achse ein Schraubengewinde eingeschnitten ist, so daß der Cylinder bei jeder Umdrehung um einen Schraubengang in seiner Längsrichtung vorrückt. Würde nun die ruhende Spitze den Cylinder berühren, so müßte dieselbe bei Drehung des Cylinders auf dessen Oberfläche eine Schraubenlinie beschreiben. Diese Schraubenlinie ist auf dem Cylinder schon als feine Rinne eingeschnitten. Bei Anwendung des Apparates wird der Cylinder mit

einem dünnen Stanniolblatte überzogen und die Metallspitze unter gelindem Drucke gegen das Blatt geführt, so daß dieselbe einen deutlich sichtbaren Eindruck in das leicht nachgebende Stanniolblatt macht. Wird nun in das Mundstück hinein gesprochen, während der Cylinder gleichmäßig gedreht wird, so erzeugt die vibrierende Spitze auf dem Stanniolblatte eine Reihe von eigentümlich gestalteten Eindrücken nach Maßgabe der gesprochenen Worte und Sätze. Zur Wiedergabe der so fixierten Sprache wird der Cylinder auf seinen Anfangspunkt zurückgedreht, die vorher zurückgezogene Spitze wieder angedrückt und der Cylinder von neuem genau wie anfangs in Bewegung gesetzt. Es erfolgt nun umgekehrt von den Eindrücken aus eine vibrierende Bewegung der Spitze, welche diese der Membran und endlich der Luft mitteilt und dadurch dieselben Laute von neuem wieder hervorruft, welche vorher die Vibrationen erzeugt hatten.

7) Wird eine in Schwingung gebrachte Stimmgabel so senkrecht vor das Ohr gehalten, daß eine äußere Fläche eines der parallelepipedischen Zinken mit dem Ohre parallel steht, so wird der Ton stark gehört; bringt man sie aber aus dieser Lage durch eine geringe Drehung um ihre Achse, so wird der Ton schwächer bis die Öffnung des Ohres sich in der Verlängerung der Diagonale der Zinke befindet. Dreht man daher die Stimmgabel um ihren Stiel ganz herum, so wiederholt sich das Schwächer- und Stärkerwerden des Tones vier mal. Diese von den Gebrüdern Weber entdeckte Unterbrechung eines hörbaren Tones, Interferenz in der Fortpflanzung des Schalles, erklärt sich aus den wellenartigen Schwingungen der Luft. Daß mittönende Körper den Schall verstärken, mag wohl daher kommen, daß ihre Luftwellen sich mit denen des ursprünglich schallenden gleichzeitig an denselben Orten verdichten und verdünnen, und so wird eine Unterbrechung wohl da entstehen müssen, wo die Verdichtung der einen Luftwelle mit der Verdünnung der anderen zusammentrifft, und also eine Ausgleichung entsteht, während das Zusammentreffen der Verdichtungen sowohl wie der Verdünnungen zweier Luftwellen eine Verstärkung zur Folge haben muß. (§ 113, 5). Für die Stimmgabel sucht das W. Weber darzuthun.

Hörbarmachung dieses Zu- und Abnehmens des Tones für viele mittelst eines cylindrischen Glases oder eines an einem Ende geschlossenen Resonanzkastens, in welchem die eingeschlossene Luftsäule durch die darüber gehaltene Stimmgabel zum Mittönen gebracht wird.

Die Interferenz der Schallwellen läßt sich durch ein einfaches Instrument — Hopkin's Apparat — sehr augenscheinlich zeigen: es besteht aus einer kurzen Röhre aus Holz oder Pappe, welche sich an einem Ende in zwei gabelförmige Äste spaltet. Wird über das einzelne Ende eine Membran gespannt, diese mit Sand bestreut und hierauf die offenen gabelförmigen Enden über einer durch Streichen mittelst eines Violinbogens in Schwingungen gesetzte Glas- oder Metallscheibe gehalten, so bleibt der Sand in Ruhe oder kommt in Bewegung, je

nachdem diese Enden über nach entgegengesetzten Richtungen oder über nach derselben Richtung schwingenden Teilen der Scheibe gehalten werden. Dort fallen die Verdichtungen der Luftsäule, welche der eine Teil der Scheibe hervorbringt, mit den Verdünnungen, welche der andere Teil bewirkt, zusammen; hier dagegen fallen sowohl die durch die betreffenden Teile der Scheibe hervorgebrachten Verdichtungen als auch die Verdünnungen abwechselnd zusammen. Wird nur ein Ast des Instruments über irgend einer beliebigen Stelle der Scheibe gehalten, so bemerkt man natürlich immer eine Bewegung des auf der Membran liegenden Sandes.

8) Das sogenannte Schweben der Töne und die darauf beruhenden Kombinationstöne oder Tartinischen Töne hängen mit der Interferenz des Schalles zusammen. Man versteht unter dem Schweben der Töne ein abwechselndes Stärker- und Schwächerwerden, ein Anschwellen und Nachlassen derselben, was immer dann eintritt, wenn zwei Töne nicht genau durch gleichviele Schwingungen in derselben Zeit hervorgebracht werden, d. h. wenn sie nicht ganz isochronisch sind. Es müssen dann in gewissen Zeitintervallen Verdichtungen mit Verdichtungen, Verdünnungen mit Verdünnungen, aber auch Verdichtungen mit Verdünnungen zusammenfallen, was ein Anschwellen, Nachlassen, augenblickliches Aufhören in Wiederholungen zur Folge haben muß. Wird der eine Ton durch 100 Schwingungen, der andere durch 105 in einer Sekunde hervorgebracht, so werden die verstärkten Wirkungen, welchen Scheibler die Benennung Stöße gegeben hat, 5 Mal in jeder Sekunde eintreten, nämlich immer nach 20 Schwingungen des einen oder nach 21 des andern schwingenden Körpers. Eben so wird bei 100 und 101 Schwingungen in jeder Sekunde immer nur ein Stoß erfolgen 2c. Werden zwei Stimmgabeln angeschlagen oder zwei Orgelpfeifen angeblasen, deren Töne sehr nahe einer Konsonanz sind, so hört man diese Stöße deutlich; oft auch schon, wenn eine Glocke zum Tönen gebracht wird, die nicht vollkommen regelmäßig und nicht überall von gleichförmiger Materie ist, so daß die aliquoten Teile, in denen die Glocke schwingt, nicht ganz gleiche Schwingungszahlen haben.

Ist der Unterschied der Anzahl der Schwingungen groß, folgen die Stöße also schnell aufeinander, so bringen diese Stöße einen besonderen Ton hervor, welcher Kombinationston genannt wird. Wenn von zwei Orgelpfeifen die eine die Quinte von der andern angiebt, so hört man zugleich einen dritten Ton, welcher von dem tiefern Tone die untere Oktave ist. Denn macht der tiefere Ton 200, der höhere, d. i. die Quinte, also 300 Schwingungen in einer Sekunde, so erfolgt nach je 2 Schwingungen des einen Tones, oder nach je 3 Schwingungen des andern ein Stoß, in der ganzen Sekunde also 100 Stöße, welche die untere Oktave des niederen Tones, der durch 200 Schwingungen hervorgebracht wurde, erzeugen.

145. 1) Einer der merkwürdigsten Umstände bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft ist die sogenannte Zurückwerfung

desselben. Hält nämlich irgend eine Fläche die Wellenbewegung der Luft auf, so werden die sie treffenden Wellen von ihr zurückgeworfen, wodurch eine neue Wellenbewegung, die sich von ihr entfernt, entsteht. Insofern wir uns den Schall in geraden Linien in das Ohr kommend denken, sprechen wir von ursprünglichen und von reflektierten Schallstrahlen. Für diese Zurückwerfung gilt, wie beim Stoße elastischer Körper und den Wasserwellen (§ 103 und § 113), das Gesetz: der Zurückwerfungswinkel ist gleich dem Einfallswinkel. Auf der Zurückwerfung der Schallstrahlen beruht der Wiederhall oder das Echo, welches, so häufig es auch vorkommt, für uns doch noch vieles Unerklärliche hat.

2) Der Schall kann so zurückgeworfen werden, daß der Ort, wo der Schall entstanden ist, mit dem, wo das Echo gehört wird, zusammen-, oder daß sie auseinanderfallen. Fallen Schall und Echo zusammen wie in Zimmern, so kann letzteres, als das schwächer wirkende, nicht für sich gehört werden, sondern es macht nur den ursprünglichen Schall stärker und länger dauernd, was den sogenannten Nachhall giebt. Soll das Ohr Schall und Echo vernehmen, so muß es sie also nicht gleichzeitig, sondern nach einander einzeln empfinden. Nun kann ein scharfes Ohr wohl kaum mehr als neun Laute in einer Sekunde deutlich von einander unterscheiden, d. h. die Laute müssen immer in Zeiträumen von $1/9$ zu $1/9$ Sekunden auf einander folgen, wenn sie deutlich gehört werden sollen. Schall und Echo sind als auf einander folgende Laute zu betrachten, und soll letzteres deutlich gehört werden, so muß es entweder gleich unmittelbar, nachdem der Schall seine Einwirkung auf das Ohr ausgeübt hat, das Ohr treffen, oder nach einiger Zwischenzeit. Der erste Fall wird eintreten, wenn die reflektierende Ebene die zur Erzeugung eines Echo's notwendig kürzeste Entfernung hat, um deren Ausmittelung es hier zu thun ist. Diese möglichst kleinste Entfernung kann nur so groß sein, daß der Schall in der ihm zur Einwirkung zukommenden $1/9$ Sekunde den Weg zur reflektierenden Ebene und von ihr zurück macht, sein Totalweg in $1/9$ Sekunde also die doppelte Entfernung ist. Da aber der Schall bei seiner mittleren Geschwindigkeit von 330 m in $1/9$ Sekunde $\frac{330}{9}$ fast $= 37$ m zurücklegt, diese 37 m aber die Summe des Hin- und Herweges sind, so muß, wenn ein wirkliches Echo entstehen soll, die reflektierende Ebene wenigstens 18,5 m entfernt sein.

Ist unser Standort nicht der Entstehungsort des Schalles, so werden wir ein Echo vernehmen, wenn der Weg des Schalles zur Reflexionsebene und von da bis in unser Ohr wenigstens 37 m länger ist, als der gerade Weg von seinem Entstehungsorte bis zu uns, denn da trifft das Echo $1/9$ Sekunde später unser Ohr, als der ursprüngliche Schall in gerader Linie.

3) Man unterscheidet ein- und vielsilbige, so wie ein- und vielfache Echo. Jene Ausdrücke beziehen sich auf die Anzahl der

wiederholten Silben, welche durch die Entfernung der reflektierenden Ebene bestimmt wird; diese hingegen auf die Anzahl der Wiederholungen einer und derselben Silbe, welche von der Anzahl der reflektierenden Ebenen abhängt. Spricht man bei der Entfernung einer reflektierenden Ebene von 19m zwei Silben hintereinander aus, so fällt das Echo der ersten Silbe mit der ausgesprochenen zweiten zusammen, und nur das der zweiten allein kann gehört werden. Bei einem dreisilbigen Worte fällt auf gleiche Art das Echo der beiden ersten Silben mit den ausgesprochenen beiden letzten zusammen, und nur das der dritten kann man hören u. s. w.; ein einsilbiges Echo giebt also immer nur die letzte Silbe eines ausgesprochenen mehrsilbigen Wortes zurück. Bei einem zweisilbigen Echo muß die Entfernung der reflektierenden Ebene wenigstens 2 . 18,5 = 37 m betragen; ein zweisilbiges Wort giebt ein solches Echo ganz wieder, von einem dreisilbigen aber nur die beiden letzten, weil das Echo der ersten Silbe mit der ausgesprochenen dritten zusammenfällt u. s. w. Stehen aber mehrere Ebenen in solcher Lage zu einander, daß die eine der anderen einen Teil des Schalles, den anderen aber dem Ohre zuwirft, so kann man einen und denselben Laut aus verschiedenen Gegenden so oft als Echo, wenn auch in abnehmender Stärke hören, als reflektierende Ebenen vorhanden sind, und das giebt ein- und mehrfache Echos, von denen wieder jedes ein- und mehrsilbig sein kann.

Im Altertume berühmte Echos waren z. B.: 1) das beim capo di bove, dem Grabmale der Metella in Rom, welches acht Mal deutlich und noch einige Mal undeutlich den ersten Vers der Aeneide: Arma virumque cano, Trojae qui primus ab oris wiederholte, also ein fünfzehnsilbiges, wenigstens achtfaches Echo; 2) ein Echo auf der Villa Simonetta bei Mailand, welches einen Ruf 30 mal wiederholte; 3) ein Echo in einem Gebäude zu Pavia, welches an 30 mal auf eine Frage antwortete, mit dem letzten Wort der Frage, z. B.: Hic quis adest? adest. Von den jetzt berühmten Echos heben wir heraus: 4) das bei Koblenz an den Ufern des Rheins, welches ein Wort 17 mal wiederholt; 5) auf der Heuscheuer in der Grafschaft Glatz ein viersilbiges Echo; 6) das siebensilbig dreifache Echo in dem sogenannten Steinwalde bei Adersbach in Böhmen; 7) in Schottland unfern Glasgow ein überaus merkwürdiges Echo, da die erste Wiederholung eine Terz tiefer, die zweite und die dritte aber jedes mal noch einen Ton tiefer ist. — Gespräche, Musik ꝛc. außerhalb des Hauses hört man bei offenen Fenstern besser als bei geschlossenen, weil im letzteren Falle durch die Fensterscheiben ein Teil des Schalles zurückgeworfen wird, der andere sie nur erschüttert, sie also auch schwächer auf die Stubenluft wirken; daher bei Doppelfenstern und Doppelthüren noch weniger gehört wird. Eine solche teilweise Zurückwerfung und in Folge dessen eine Schwächung des Schalles findet überhaupt statt beim Übergange desselben aus einem Medium in ein anderes.

4) Was die Beschaffenheit der reflektierenden Ebene betrifft, so kann dieselbe von der mannigfaltigsten Art sein, z. B. Mauern, Felsen, Bäume eines Waldes, Wasser, selbst Wolken. Der Form nach muß die konkave Fläche, oder eine solche, die entsteht, wenn mehrere Ebenen unter gewissen Winkeln an einander gereiht werden, die vorteilhafteste sein.

Das Rollen des Donners ist Folge der häufigen durch die Luft, in Gebirgen

auch durch die Berge bewirkten Zurückwerfungen des beim Durchschlagen des Blitzes durch die Luft hervorgebrachten Schalles.

146. Auf der Zurückwerfung der Schallstrahlen beruhen endlich viele akustische Instrumente und sogenannte akustisch merkwürdige Gebäude. Das Kommunikationsrohr (Flüsterrohr), jede cylindrische Röhre, dient, einen Schall ungeschwächt weiter fortzupflanzen, als es seiner Stärke nach ohne dieses Mittel geschehen würde. Das Ohr muß nahe am Rohre gehalten werden, warum? — Das Sprachrohr, am besten kegelförmig, ist bestimmt, die menschliche Stimme auf weite Entfernung, bis etwa 1000 Meter, verständlich hörbar zu machen. Man erreicht dieses dadurch, daß die Schallwellen, indem man zu dem engeren Ende hineinspricht, in Folge der Zurückwerfung von den Wänden in der Richtung der Achse am weiteren Ende heraustreten, und in dieser Richtung die Luft bedeutend stärker erschüttern, als es geschehen würde, wenn sie gleich vom Munde nach allen Richtungen sich erweiterten. Das Mitschallen des Rohres verstärkt den Ton auf Kosten der Deutlichkeit, deshalb ist es gut, das Sprachrohr aus möglichst unelastischer Materie zu verfertigen. — Das Hörrohr, dessen Bestimmung ist, schwerhörenden Personen die menschliche Stimme verständlich zu machen, ist so beschaffen, daß es durch sein weites Ende die Schallwellen auffängt, sie durch Reflexion in einem Punkt vereinigt und sie sodann durch sein engeres Ende in das innere Ohr, mit dem es in Verbindung gesetzt wird, gelangen läßt.

Das Kommunikationsrohr, wozu man jetzt sehr bequem Gutta percha verwendet, wird auf Schiffen und in manchen zimmerreichen Gebäuden, das Sprachrohr auf Stadttürmen, Schiffen, im Kriege ꝛc. angewendet.

Sondhaus hat durch eine Linse, die er aus zwei über festen linsenförmigen Flächen gebildeten Kollodiumhäuten zusammensetzte und mit verschiedenen Gasarten füllte, den Beweis geliefert, daß die Schallwellen auch einer Brechung fähig sind, wie das Licht (§ 162 u. s. w.). Das Ticken einer Uhr in einiger Entfernung von der Linse wurde in einem bestimmten Punkte hinter derselben (Sammelpunkt der Schallstrahlen) deutlich gehört; eben so wurde Sand, über an jener Stelle zweckmäßig angebrachten Goldschlägerhäutchen gestreut, in hüpfende Bewegung gesetzt.

Das Gehörorgan ist sehr zusammengesetzt. Das äußere Ohr besteht aus der Ohrmuschel und dem Gehörgang, das mittlere aus dem Trommelfell, welches den Gehörgang schließt, und aus der nur mit Luft angefüllten Paukenhöhle, in welcher sich ein Hebelsystem von Gehörknöchelchen, an die sich besondere Muskeln ansetzen, befindet, nämlich der Hammer, der Ambos und der Steigbügel, von denen der Hammer an das Trommelfell angewachsen ist, der Steigbügel aber das ovale Fenster des darauffolgenden Labyrinthes schließt, während das runde Fenster durch ein Häutchen geschlossen wird. Das innere Ohr, Labyrinth genannt, besteht aus dem Vorsaal, der Schnecke und den drei Bogengängen und wird von einer Flüssigkeit (Perilympha) angefüllt. In der Flüssigkeit des Vorsaales schwimmen zwei häutige, ebenfalls mit Flüssigkeit (Endolympha) gefüllte Bläschen, in denen sich der Gehörnerv verbreitet. An der Schneckenscheidewand des innern Ohrs liegen nach der Entdeckung des italienischen Marchese Corti etwa 3000 Fasern von ungleicher Länge und Spannung; wie die Saiten eines Klaviers, durch die Schallwellen in Bewegung gesetzt, werden die gleich gestimmten Saiten in Schwingungen gebracht, und dadurch die Nerven des Ohres befähigt, die einzelnen Töne und Stimmen zu unterscheiden; da die nicht gleichgestimmten Saiten nicht mittönen können. Die

Paukenhöhle steht aber auch mit der Mundhöhle durch die Eustachische Röhre in Verbindung. — Das Ohr des Dionysius in Syrakus. — Sprachgewölbe; in der Sternwarte zu Paris befindet sich ein elliptisch gewölbtes Zimmer. Die von dem einen Brennpunkte der Ellipse ausgehenden Schallstrahlen werden alle nach dem andern Brennpunkte hin zurückgeworfen; daher werden die von dem ersten Brennpunkte ausgehenden Laute im zweiten Brennpunkte deutlich vernommen. — Kirchen und andere Gebäude mit akustischen Merkwürdigkeiten. — Das unsichtbare Mädchen.

Siebenter Abschnitt.

Die im Folgenden zu betrachtenden Erscheinungen des Lichtes, der Wärme, des Magnetismus und der Elektricität glaubte man in früherer Zeit nicht anders als durch Annahme besonderer Stoffe, eines Lichtstoffes, Wärmestoffes, eines oder zweier elektrischen und eines oder zweier magnetischen Stoffe erklären zu können. Da dieselben auch bei möglichster Ansammlung auf einem Körper keinerlei Gewichtszunahme wahrnehmen ließen, so nannte man diese Stoffe auch unwägbare oder imponderabele Stoffe, Imponderabilien. Der Ausdruck bezeichnet nicht notwendig absolute Gewichtslosigkeit, sondern eine überaus große Feinheit und Leichtigkeit jener Materien, gegen welche unsere empfindlichsten Wägungsmittel unzureichend erscheinen. Doch ist er auch vielfach im absoluten Sinne genommen worden. Die Unmöglichkeit, eine Reihe optischer Erscheinungen auf die Eigenschaften eines besonderen Lichtstoffes zurückzuführen, die mathematische Sicherheit hingegen, mit welcher alle diese Erscheinungen durch die Annahme schwingender Bewegungen der Moleküle des Äthers erklärt werden, haben seit langer Zeit dahin geführt, daß die Ansicht von dem Vorhandensein eines besonderen Lichtstoffes allgemein aufgegeben worden ist. Mit dem Worte Äther bezeichnet man eine bis jetzt unwägbare Materie, welche den ganzen weiten Weltraum erfüllt, auch alle Körper durchdringt. Nicht allein die Physik im engern Sinne, auch andere Gebiete der Naturwissenschaft, insbesondere die Astronomie, führen auf die Notwendigkeit der Annahme eines Weltäthers, dessen Feinheit menschlichem Vorstellungsvermögen unfaßbar, der aber dennoch der Gravitation unterworfen ist. — Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wärmelehre kann auch von einem Wärmestoffe nicht füglich mehr die Rede sein. — Über das innerste Wesen des Magnetismus und der Elektricität ist zwar bisher eine Vorstellung noch nicht gewonnen, welche den Grad der Wahrscheinlichkeit in sich trüge, um zu allgemeiner Geltung gelangen zu können. Seitdem aber die Möglichkeit der wirklichen Umwandlung von Magnetismus und Elektricität in mechanische Kraft, Wärme, Licht u. s. w., überhaupt die Möglichkeit des gegenseitigen Überganges aller sogenannten Naturkräfte in einander als erwiesene Thatsache zu betrachten ist, kann auch die Hypothese von

der stofflichen Natur des Magnetismus und der Elektricität als eine nicht mehr haltbare bezeichnet werden. Somit bleibt von den sogenannten Imponderabilien allein der Äther als ein hypothetischer Stoff übrig, welcher zur Erklärung vieler im folgenden zu besprechenden Erscheinungen angenommen werden muß.

Vom Lichte.

147. **Licht** ist dasjenige, was uns die Gegenstände sichtbar macht; es ist mithin die Bedingung des Sehens oder des Wahrnehmens der Gegenstände mittelst des Auges.

Wenn wir auch nicht wissen, was das Licht sei, so kennen wir doch größtenteils die Gesetze, nach denen es wirkt. Die Lehre vom Lichte heißt **Optik**.

Newtons Emanations- oder Emissions-Theorie und **Eulers** Vibrations- oder Undulations-Theorie (**Kartesius**, **Huygens**, **Hooke**, **Euler**, **Young**, **Frauenhofer**, **Fresnel**, **Schwerd**); nach jener ist das Licht eine außerordentlich feine, schwerlose oder imponderable Materie, welche von den leuchtenden Körpern sich nach allen Richtungen mit überaus großer Geschwindigkeit verbreitet; nach dieser erstreckt sich durch den Raum und durch alle Körper in ihm der **Äther**, welcher wegen seiner außerordentlichen Feinheit schwerlos erscheint, aber wegen seiner Elasticität Wellenbewegungen annehmen kann, — dort soll die Empfindung des Sehens durch die Einwirkung der Lichtmaterie auf das Auge, wie der Geruch durch Einwirkung der von den riechenden Körpern sich ablösenden und die Geruchsnerven berührenden Teilchen entstehen; hier dagegen durch die Einwirkung der Ätherwellen auf die Netzhaut des Auges wie die Empfindung des Hörens durch die der Luft- oder Schallwellen auf das Ohr, — dort ist also Licht wirkliche Materie, hier dagegen nur die Folge der Vibration einer Materie, der Äthermaterie. Die Vibrationstheorie hat jetzt noch allein Geltung.

148. Die Körper werden, in Beziehung auf das Licht, eingeteilt in **selbst leuchtende** und **dunkle**, je nachdem sie selbst Licht verbreiten, wie die Sonne, die Fixsterne, brennende und phosphoreszierende Körper, oder von selbst kein Licht erzeugen, wie das Holz, die Steine u. s. w. Die leuchtenden Körper sind durch sich selbst sichtbar; die dunklen nur dadurch, daß von selbstleuchtenden Körpern das Licht auf sie auffällt, welches sie zurückstrahlen. Die Körper heißen **durchsichtig**, wenn sie das Licht durchlassen, wie das Glas, das Wasser, die Luft; **undurchsichtig**, wenn sie es abhalten, wie die Kohle, Metalle u. s. w., **durchscheinend** endlich, wenn sie das Licht nur zum Teil durchlassen, wie mattgeschliffenes Glas oder Papier. Durch die ersten kann man andere Körper deutlich sehen, durch die zweiten gar nicht und durch die letzten nur undeutlich.

Es giebt keine absolut durchsichtige Körper (auch Wasser und Luft schwächen die Wirkung des Lichtes), noch vollkommen undurchsichtige: die feinsten Goldblättchen werden durchsichtig. — Bei starker Erhitzung werden die meisten Körper glühend: selbstleuchtend; es giebt aber solche, welche bei gewöhnlicher Temperatur ein schwaches Licht verbreiten: wie Phosphor, faulendes Holz, einige Insekten; Leuchten des Meeres.

149. Die Lehre von dem Lichte knüpft sich an folgende Sätze:

1) Das Licht verbreitet sich in einem und demselben durchsichtigen Körper oder Mittel in geraden Linien.

2) Trifft das Licht auf einen undurchsichtigen Körper, so wird es zum Teil zurückgeworfen oder erleidet eine Zurückwerfung, Reflexion, Zurückstrahlung, zum Teil absorbiert, wobei es als solches verloren geht.

3) Geht das Licht aus einem durchsichtigen Körper in einen anderen von verschiedener materieller Beschaffenheit in einer schiefen Richtung über, so wird es von der geraden Linie, in welcher es sich bewegte, abgelenkt. Diese Ablenkung heißt Brechung, Refraktion. Außer dieser Ablenkung des Lichtes von der geraden Linie, mittelst der Brechung, giebt es noch eine andere mittelst der Beugung oder Inflexion des Lichtes, welche nur stattfindet, wenn Lichtstrahlen an den scharfen Kanten fester Körper vorübergehen. — Auch von durchsichtigen Körpern wird Licht zurückgeworfen und absorbiert, aber nur ein Teil, während der andere gebrochen oder ungebrochen hindurchgeht.

Hiernach hat die Optik drei Hauptteile: die Optik im engeren Sinne, die Lehre vom Lichte, welches weder eine Zurückwerfung noch eine Brechung erleidet; Katoptrik, die Lehre vom zurückgeworfenen, und Dioptrik, die Lehre vom gebrochenen Lichte. Daran knüpft sich hier als vierter Teil die Betrachtung der gewöhnlichsten optischen Instrumente.

I. Die Lehre von der geradlinigen Verbreitung des Lichtes.

150. Die Vorstellung, daß sich das Licht in geraden Linien verbreitet, beruht auf der Erfahrung, daß ein brennendes Licht nicht gesehen wird, wenn in die gerade Linie zwischen dasselbe und das Auge ein undurchsichtiger Körper gebracht wird. Wir sehen daher nur in geraden Linien, d. h. der Eindruck des Lichtes auf das Auge geschieht in geraden Linien, welche in dieser Hinsicht Lichtstrahlen heißen. Da ein leuchtender Punkt von allen Seiten gesehen wird, so nehmen wir ferner an, daß sich das Licht von einem leuchtenden Punkte nach allen Richtungen in auseinanderfahrenden oder divergierenden Strahlen ausbreite. Man kann daher in Beziehung auf einen Lichtpunkt immer von einem Strahlenkegel und einer Strahlenpyramide sprechen, wenn man das Licht durch eine Fläche auffängt.

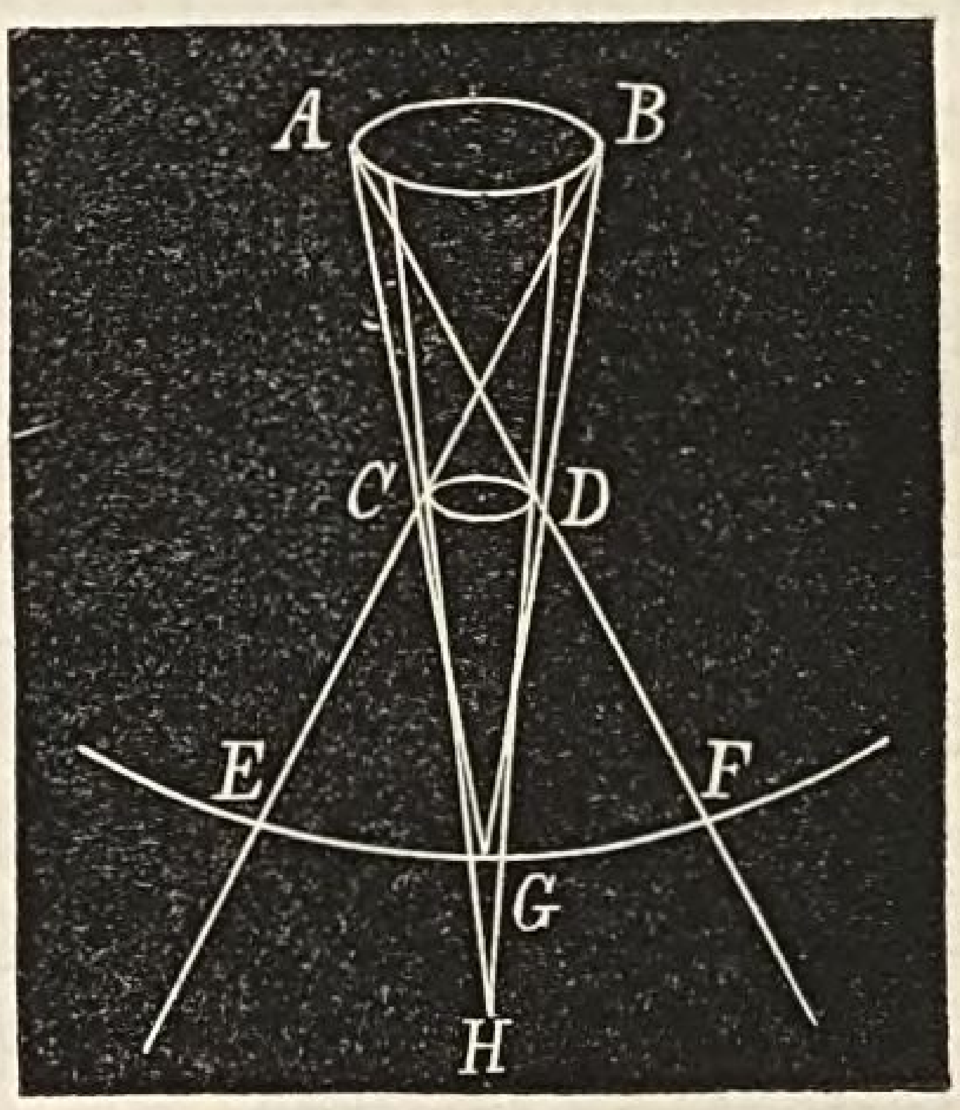
Bei allen Wahrnehmungen durchs Auge gehen wir, wenn auch unbewußt, von der Annahme aus: das Licht bewege sich in gerader Linie; wir versetzen den Gegenstand an den Punkt hin, auf welchen der von ihm zum Auge kommende Lichtstrahl weist. Zwei Stangen, von welchen die eine unserm Auge die andere verdeckt, befinden sich — wie wir annehmen — in einer geraden Linie mit dem Auge.

151. Fällt auf einen undurchsichtigen Körper Licht, so muß es hinter ihm, wo das Licht wegen seiner geradlinigen Verbreitung nicht hingelangen kann, dunkel sein; man sagt, es entstehe ein Schatten, welches Wort also Abwesenheit des Lichtes bezeichnet. Bei einem ein=

zigen leuchtenden Punkte, wie es in der Wirklichkeit keinen giebt, müßte der Schatten ein völlig lichtloser, mit der Entfernung sich erweiternder Raum sein, z. B. bei einer Kugel ein sich mit der Entfernung erweiternder abgekürzter Schattenkegel, bei einer dreiseitigen undurchsichtigen Scheibe, wenn das Licht auf eine der Dreieckflächen fällt, eine dreiseitige abgekürzte Schattenpyramide u. s. w., wenn es nicht auch eine Seitenbeleuchtung von andern Lichtquellen gäbe. Bei leuchtenden Körpern dagegen wird die Gestalt und Größe des Schattens bedingt durch die Gestalt und Größe sowohl des leuchtenden als auch des beleuchteten Körpers und durch ihre Entfernung von einander. Denken wir uns z. B. leuchtende Kugeln, so geben sie einen mit der Entfernung sich erweiternden abgekürzten Schattenkegel, oder einen unbegrenzten Schattencylinder, oder endlich einen Schattenkegel: je nachdem die leuchtende Kugel kleiner oder eben so groß, oder endlich größer als die beleuchtete ist. Wenn der leuchtende Körper ausgedehnt ist, giebt es einen *Kern-* und *Halbschatten*, d. h. einen vollkommen dunkeln und einen halbdunkeln Schatten; weil es hinter dem beleuchteten Körper einen Raum giebt, wohin von gar keinem Teile des leuchtenden Körpers Lichtstrahlen gelangen; aber auch einen Raum, der jenen umschließt, wohin nur ein Teil der Lichtstrahlen gelangt, und da dieser Teil vom Kernschatten nach dem vollkommenen Lichtraume hin immer größer wird, so muß ein allmäliger Übergang vom vollen Schatten zum vollen Lichte stattfinden.

Hierzu Figur 55, zu deren Verständnis folgende Andeutungen: Ist AB die Sonne, CD der Mond, so ist CDG der Kernschatten, GCE und GDF der Halbschatten, welcher immer lichter wird nach CE und DF hin, außerhalb welcher vollkommener Lichtraum ist. Befindet sich die Erde auf ihrer Bahn in G, oder innerhalb CDG, so giebt es auf ihr eine totale Sonnenfinsternis, welche, wenn der Mittelpunkt der Erde in der Achse des Schattenkegels liegt, zugleich central ist, zwischen G und F, so wie zwischen G und E eine *partiale* und zwar eine desto kleinere, je näher die Erde an CE und DF ist; in der verlängerten Achse des Schattenkegels, z. B. in H eine *ringförmige*. Die totalen und ringförmigen fangen an und endigen mit partialen.

Figur 55.



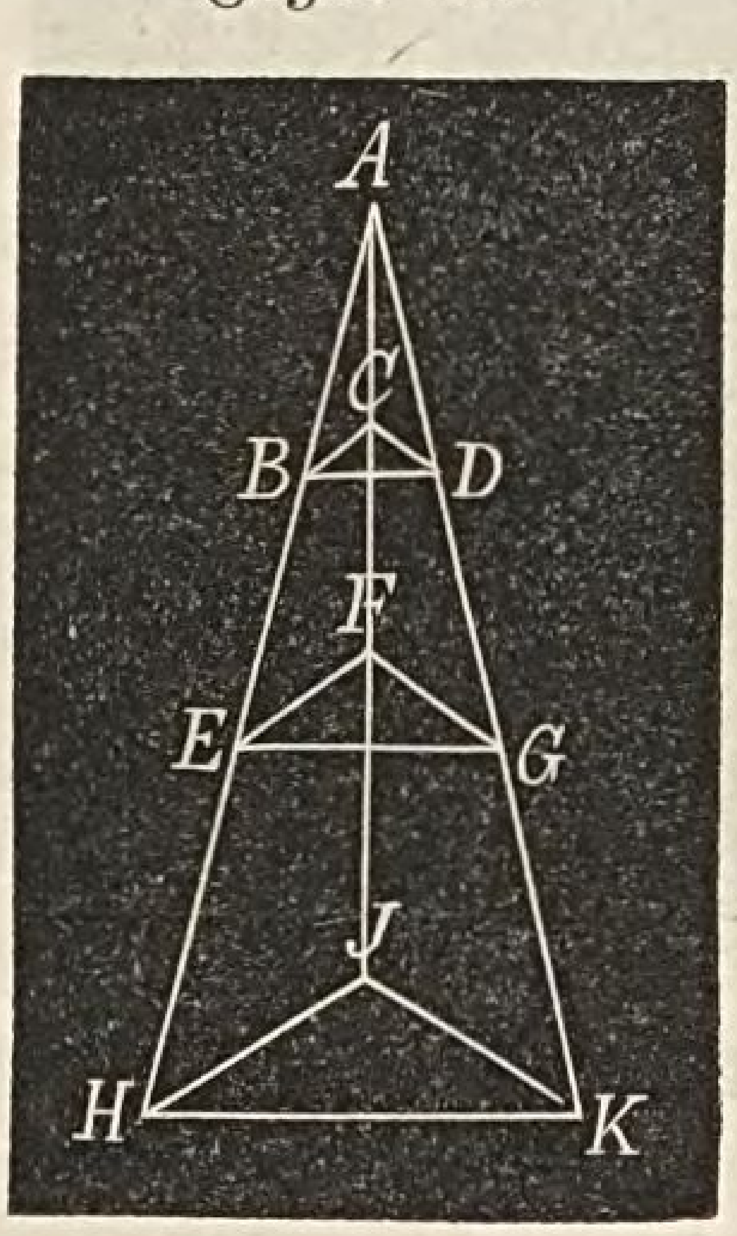
Unter *Schlagschatten* versteht man den auf eine Fläche fallenden Schatten, z. B. auf die Wand, auf die Decke oder den Fußboden der Stube. Eine Bewegung des Schattens tritt ein, wenn sich entweder der leuchtende oder der dunkle Körper oder auch beide zugleich bewegen.

Auch bei einer Mondfinsternis stehen Sonne, Erde und Mond in einer geraden Linie, aber nicht wie bei einer Sonnenfinsternis der Mond zwischen Sonne und Erde, sondern die Erde zwischen Sonne und Mond. Dort bedeckt der Mond die ganze Sonnenscheibe oder auch nur einen Teil derselben, indem er vor die Sonne tritt; hier aber wirft die Erde einen Schlagschatten auf den Mond. Die Mondfinsternis beginnt am östlichen Rande des Mondes, da der am

Himmelsgewölbe von Westen über Süden nach Osten fortrückende Mond mit seinem östlichen Rande in den Schattenkegel der Erde tritt; die Sonnenfinsternis beginnt dagegen am westlichen Rande der Sonne, da der am Himmelsgewölbe von Westen nach Osten fortrückende Mond, vor die Sonne tretend, mit seinem östlichen Rande zuerst den westlichen Rand derselben bedeckt.

152. Jeder weiß, daß eine Fläche desto stärker erleuchtet ist, je näher sie dem leuchtenden Körper gehalten wird; daß also die Intensität des Lichtes oder die Erleuchtung an Stärke mit der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt, wofür wir im allgemeinen schon den optischen Grund angeben können, daß die von einem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen auseinander gehen, mithin desto weniger derselben eine Fläche treffen können, je größer ihre Entfernung ist. Diese Abnahme ist aber nicht von der Art, daß die Erleuchtung in der doppelten, dreifachen 2c. Entfernung auch zwei, drei mal schwächer ist, sondern sie ist in der doppelten Entfernung vier mal, in der dreifachen neun mal schwächer als in der einfachen, d. h. die **Stärke oder Intensität der Erleuchtung nimmt ab, so wie die Quadrate der Entfernung zunehmen**: ein Gesetz, dessen Richtigkeit Theorie und Erfahrung bestätigen; wenn auch in der Wirklichkeit die Stärke der Erleuchtung durch die materielle Beschaffenheit sowohl des leuchtenden als des beleuchteten Körpers, durch die Größe der leuchtenden Oberfläche, wie auch durch den Einfallswinkel des Lichtes manche Änderung erleidet. Unter einem je spitzeren Winkel nämlich Lichtstrahlen auf eine Ebene fallen, desto weniger derselben treffen sie, und desto schwächer wird sie daher erleuchtet.

Figur 56.



Ist in Figur 56 A ein leuchtender Punkt, AG = 2 AD und AK = 3 AD, so müßte die Fläche BCD, welche in der Entfernung AD das Licht des Strahlenkegels ABCD auffängt, in der doppelt so großen Entfernung AG zur Fläche EFG, in der dreifachen Entfernung AK zur Fläche HIK anwachsen, um ungeändert dieselbe Menge von Licht zu erhalten. Da die mit der Entfernung größer werdende Fläche immer nur von derselben Menge von Lichtstrahlen getroffen wird, so muß die Erleuchtung mit der Entfernung abnehmen. Nach stereometrischen Gründen steht aber, die Flächen parallel angenommen, $HIK : EFG : BCD = AK^2 : AG^2 : AD^2 : = (3AD)^2 : (2AD)^2 : (AD)^2 = 9 : 4 : 1$, d. h. die Flächen werden im quadratischen Verhältnisse der Entfernungen größer, und da dieselbe Menge Licht eine 4, 9 2c. mal größere Fläche auch notwendig 4, 9 2c. mal schwächer erleuchten muß, so folgt daraus ohne weiteres die Richtigkeit des Gesetzes — oder man sagt: denkt man sich um einen leuchtenden Punkt als Mittelpunkt konzentrische Kugeln, so werden deren Oberflächen ($4r^2\pi$), welche immer von derselben Menge Licht getroffen werden, im quadratischen Verhältnisse ihrer Radien, d. i. ihrer Entfernungen von der Lichtquelle, größer, und deshalb muß ihre Beleuchtung abnehmen, wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen.

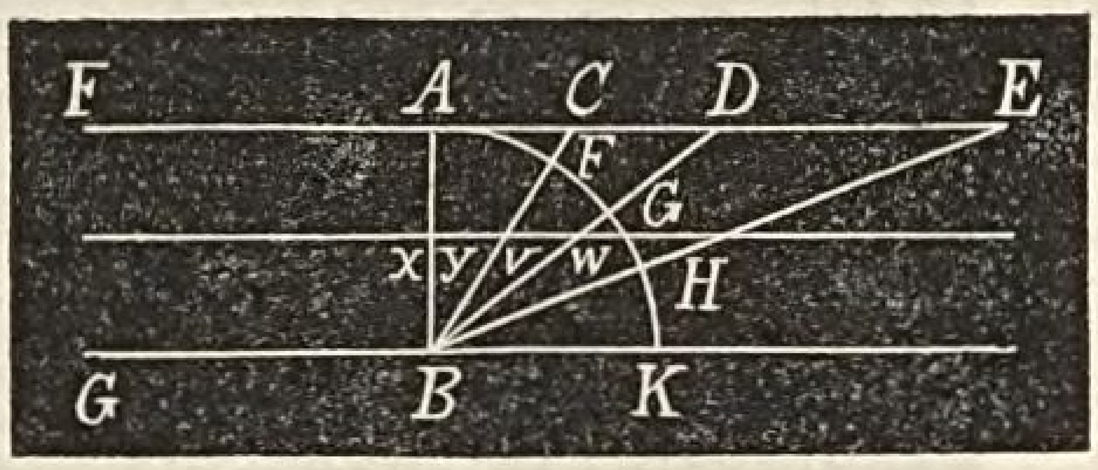
Da die Entfernungen der Planeten von der Sonne bekannt sind, so ist die Stärke ihrer Beleuchtung, die Erdbeleuchtung zur Einheit genommen, hiernach leicht zu finden. Für den Merkur steht z. B.:

$$1 : x = 4^2 : 10^2$$
$$1 : x = 16 : 100$$
$$x = 6{,}25 \quad (\S\ 79),$$

so daß also die Helligkeit auf dem Merkur über 6 mal, auf der Venus über 2 mal größer als bei uns ist, während sie bei den andern Planeten schwächer ist, z. B. beim Uranus über 380 und beim Neptun über 4500 mal schwächer.

Stellen in Figur 57 AB eine auf FA senkrechte, BC, BD, BE nach der Reihe immer schiefer stehende, gleich breite, aber zu derselben Höhe heraufreichende, mithin immer größer werdende Ebenen vor, so erhalten sie doch alle gleich viele Lichtstrahlen, wenn wir uns sie zwischen FA und GB, diesen parallel, auffallend denken; dabei ist $x > y$, $y > v$, $v > w$. Sind nun die Flächen BC, BD, BE in derselben Ordnung 2, 3, 4 Mal größer als AB, so ist auch ihre Beleuchtung 2, 3, 4 Mal schwächer, als die von AB; und denken wir uns BA als Radius einer Kugel um B, so sind zwar BA, BF, BG, BH einander gleich, aber sie werden nie gleich stark erleuchtet; BA am stärksten und BH am schwächsten, weil jene das ganze Licht, diese den kleinen Teil desselben auffängt. Die Erleuchtung ist dem sinus der Winkel y, v, w proportional. Bouguer und Lambert haben sich in der Photometrie die meisten Verdienste erworben. Photometer, von denen das von Rumford auf der Erzeugung gleich dunkler Schlagschatten und das von Ritchie auf der Erzeugung gleicher Helligkeit durch verschiedene Lichtquellen beruht. Nach Wollaston ist das Sonnenlicht 800000 mal stärker als das einer Kerze in der Entfernung von einem Fuße.

Figur 57.



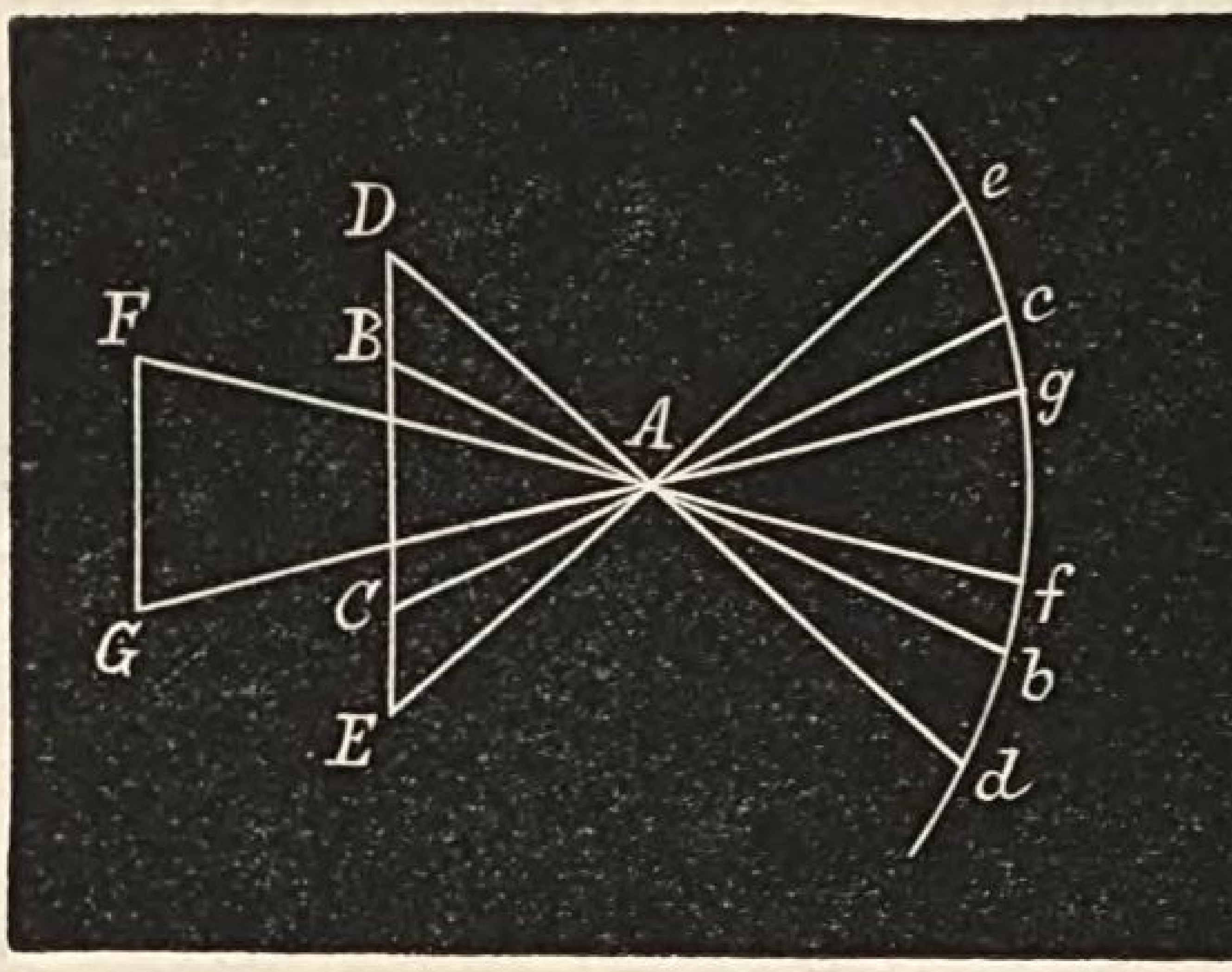
Da ein Licht in der 2-, 3- ꝛc. fachen Entfernung eine 4, 9 ꝛc. mal schwächere Beleuchtung giebt, so kann die Helligkeit, welche ein Licht in der Entfernung von 1 m hervorbringt, in der Entfernung von 2 m erst durch 4, in der Entfernung von 3 m erst durch 9 gleich stark leuchtende Lichte hervorgebracht werden.

153. 1) Es sind bei jedem Körper in Bezug auf das Bild, welches er in unserm Auge erzeugt, vorzüglich zu betrachten: der Ort, die Gestalt, die Größe, die Entfernung und die Bewegung desselben, und zwar muß man dabei den scheinbaren Ort vom wahren, die scheinbare Gestalt von der wahren u. s. w. unterscheiden. Jeder weiß aus Erfahrung, daß wir nicht immer einen Körper an den Ort versetzen, welchen er wirklich einnimmt, daß eine entfernte Kugel uns als Scheibe erscheint, daß wir von zwei gleich großen Körpern den entfernteren für kleiner als den näheren halten, und daß wir uns auch in der Beurteilung der Entfernung und Bewegung der Körper vielfältig irren. In Bezug auf den Ort und die Größe eines Körpers heben wir folgendes heraus.

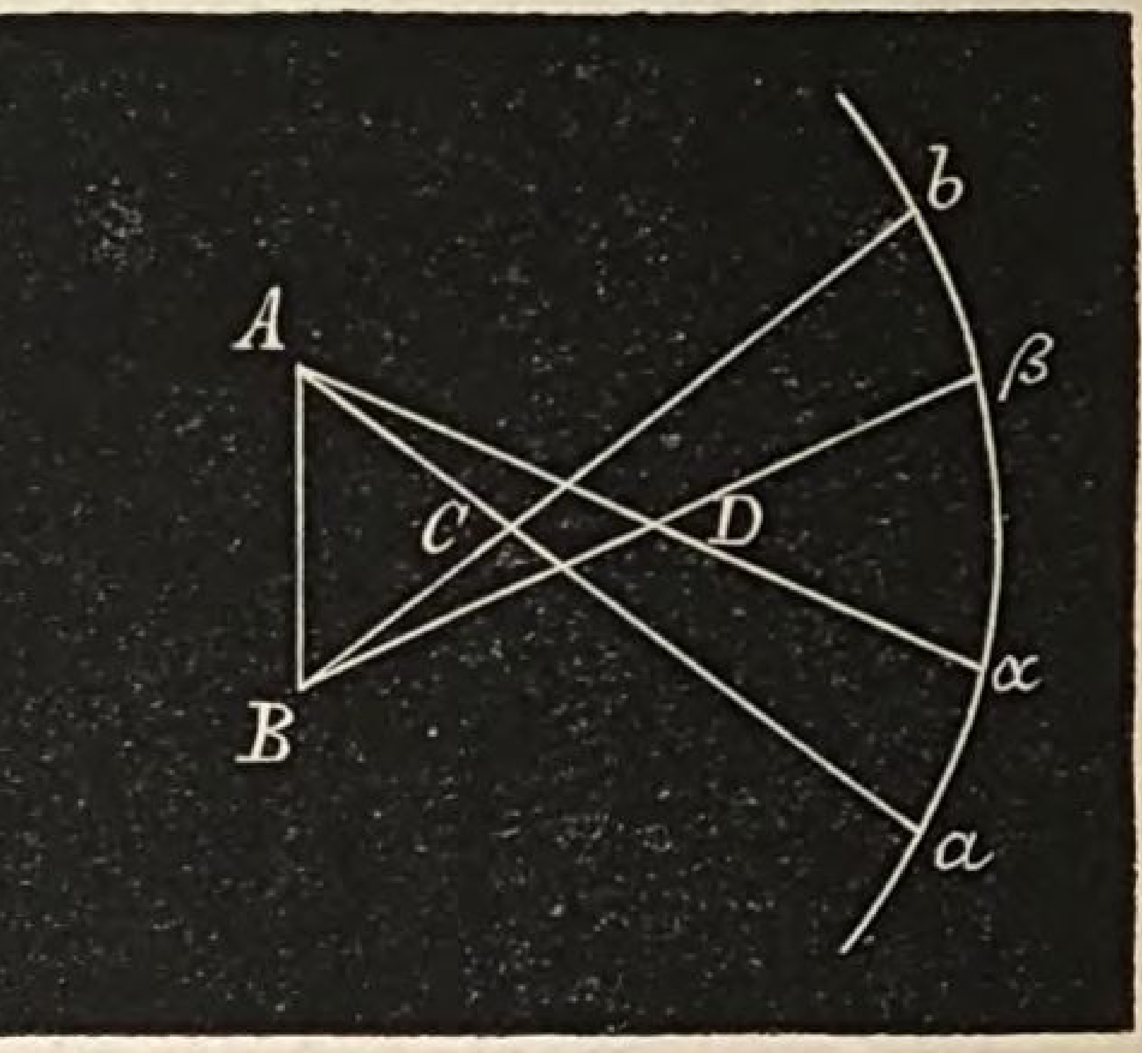
2) Ein entfernter Gegenstand, etwa ein Baum, scheint uns an den Grenzen des Horizontes zu stehen; der Punkt, wohin er versetzt wird, heißt sein optischer Ort, zum Unterschiede von seinem wahren Orte. Ein und derselbe Gegenstand aus zwei verschiedenen Standpunkten, die aber mit ihm nicht in derselben geraden Linie liegen dürfen, gesehen, erscheint an zwei verschiedenen Stellen des Horizontes, d. h. er hat zwei optische Örter. Parallaxe bezeichnet nun den Bogen des Horizontes zwischen den beiden optischen Örtern, oder den Winkel, welchen die Verbindungslinien derselben mit den Standpunkten am wahren Orte des Gegenstandes, mithin auch den Winkel, welchen

die Verbindungslinien der beiden Standpunkte mit dem wahren Orte des Gegenſtandes bilden. Die Parallaxe nimmt zu, wenn die Entfernung der Standpunkte von einander zunimmt; aber auch ab, wenn die Entfernung der Standpunkte vom Gegenſtande zunimmt, wie das die leicht zu verſtehende Figur 58, worin A den Gegenſtand, B und

Figur 58.



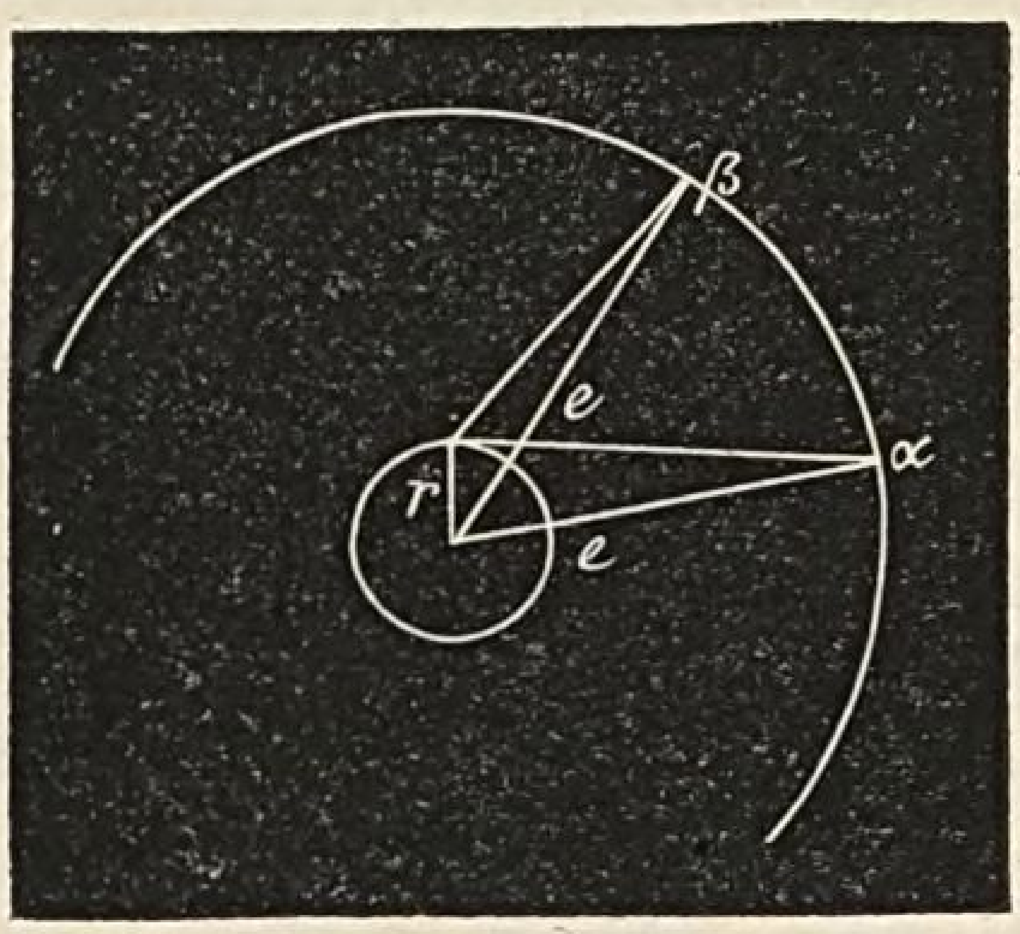
Figur 59.



C, D und E, endlich F und G je zwei zuſammengehörige Standpunkte bedeuten und $BC = FG$ gedacht wird, deutlich zeigt; die Figur 59 macht dagegen deutlich, daß von zwei ungleich weit entfernten Gegenſtänden C und D bei gleicher Entfernung der Beobachtungsorte A und B der entferntere D die kleinere Parallaxe $\alpha\beta$ hat.

Irdiſche und aſtronomiſche Parallaxe: bei welcher letzteren die zwei Standpunkte entweder der Beobachtungspunkt auf der Oberfläche der Erde und der Mittelpunkt der Erde, welcher hier gleichbedeutend iſt mit demjenigen Orte der Erdoberfläche, welcher den Stern im Zenithe hat, oder auch diametral entgegengeſetzte Punkte der Erdbahn ſind. Dieſe heißt jährliche, jene tägliche Parallaxe, welche wieder Horizontal- und Höhenparallaxe ſein kann. Die tägliche Parallaxe nimmt an Größe ab vom Horizonte nach dem Zenithe, wo ſie gleich Null iſt, und erniedrigt die Höhe der Geſtirne in Bezug auf die Orte, an welchen ſie, vom Mittelpunkte der Erde betrachtet, erſcheinen würden. Die Fixſterne zeigen gar keine tägliche Parallaxe; die der Sonne und des Mondes ſind nicht immer unverändert dieſelben, da die Erde ihnen bald näher, bald entfernter iſt; im Mittel iſt jene $8'',_{577}$, dieſe 57′ 40″; die des Uranus aber kaum $^1/_2$ Sekunde, welcher jedoch eine jährliche Parallaxe von noch 3 Graden hat. Erſt in der neueſten Zeit iſt es Beſſel, Henderſon, Struve, Peters und anderen Aſtronomen gelungen, von etwa 30 Fixſternen die jährlichen Parallaxen zu beſtimmen, von denen faſt alle unter einer halben Sekunde betragen, was auf Entfernungen von 4 bis 32 Billionen Meilen leitet. Die größten Parallaxen haben α Centauri 0,91″ — 61 Cygni 0,31 — Sirius 0,23 — α Lyrae 0,21 und Arcturus 0,13″, woraus in derſelben Ordnung die Entfernungen auf 220000 — 550000 — 890000 — 970000 — 1600000 Erdweiten berechnet worden ſind. Aus der Horizontalparallaxe und dem Erdhalbmeſſer (r) findet man die Entfernung (e) eines Himmelskörpers, da:

Figur 60.



$$\frac{r}{e} = \sin \text{horiz. p, also } e = \frac{r}{\sin \text{horiz p.}}$$

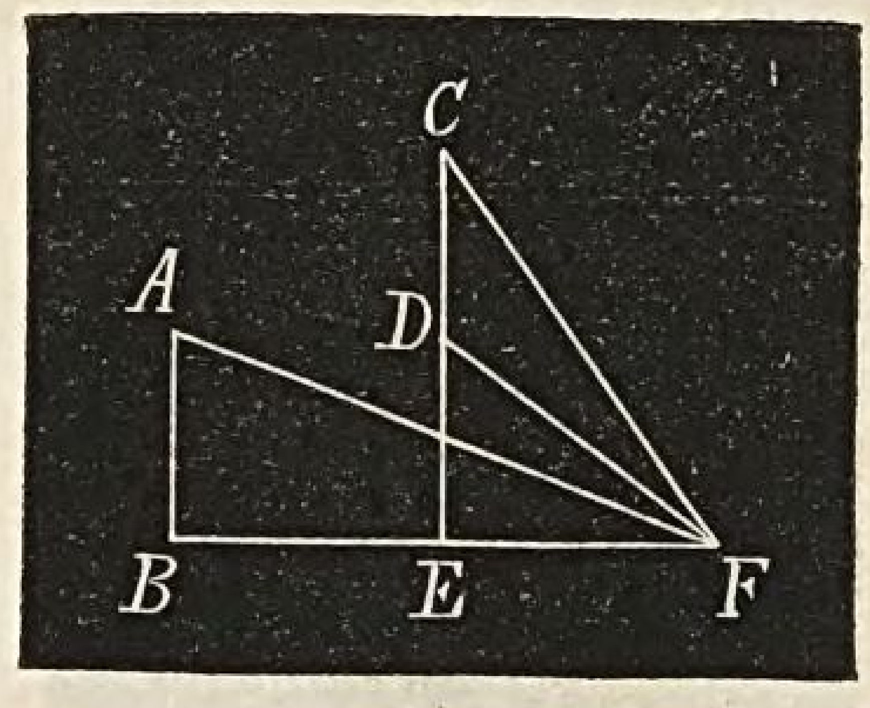
Daß die Höhenparallaxe (β) eines Sternes kleiner sei, als seine Horizontalparallaxe (α) und mit der Höhe abnehme, verdeutlicht Figur 60. Es steht, wenn st den stumpfen Winkel bezeichnet:

$$\sin \alpha : \sin 90^0 = r : e$$
$$\sin \beta : \sin st = r : e$$
$$\sin \alpha : \sin \beta = \sin 90^0 : \sin st,$$

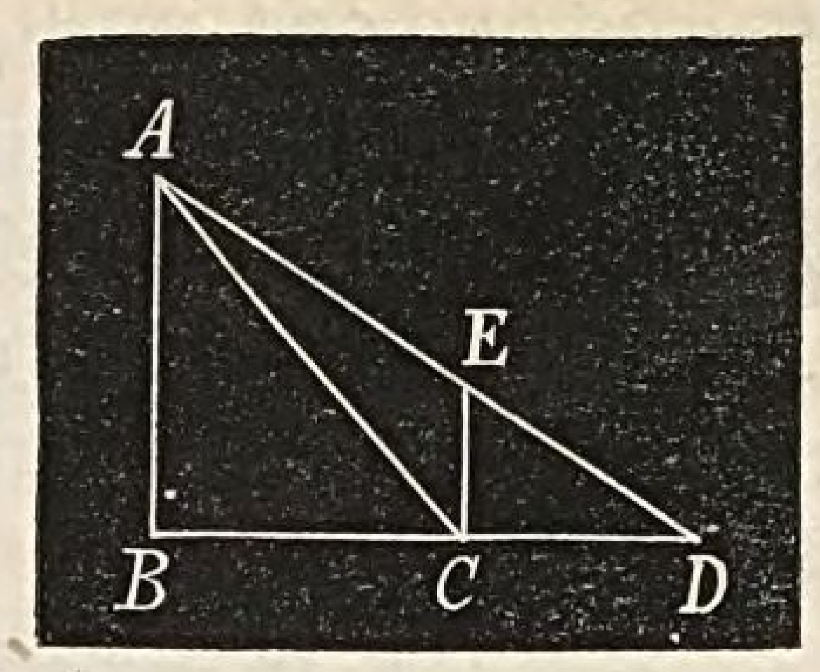
aber $\sin st < \sin 90^0$, also auch $\sin \beta < \sin \alpha$, mithin auch $\beta < \alpha$, und da st immer > wird, je höher das Gestirn steht, also sin st desto < sin 90^0, so wird auch β desto < α, je höher sich das Gestirn über dem Horizonte erhebt, und = 0, wenn st = 180^0 wird, d. h. wenn das Gestirn im Zenithe steht.

3) Der Winkel, welchen die Lichtstrahlen von den äußersten Punkten eines Körpers im Auge bilden, wird **Sehwinkel** oder **Gesichtswinkel** genannt. Nach demselben beurteilen wir die **scheinbare Größe** der Körper, weshalb auch dieser Winkel selbst häufig die scheinbare Größe des Körpers genannt wird. Der Gesichtswinkel ist desto kleiner, je kleiner der Gegenstand ist und je entfernter er vom Auge sich befindet, was Figur 61 verdeutlicht, wo F das Auge, DE, CE, so wie AB = DE Gegenstände bedeuten. Verschieden große Gegenstände können bei ungleicher Entfernung gleiche Sehwinkel haben, ja sogar in gleicher Entfernung, wenn ihre Neigungswinkel zur Erde ungleich sind; dort muß der größere Gegenstand eine verhältnißmäßig größere Entfernung, hier eine größere Neigung, d. h. einen kleineren Neigungswinkel haben; hierzu Figur 62, wo wir uns in D das Auge, unter CE und BA senkrecht stehende Gegenstände, unter CA aber einen schief stehenden Gegenstand denken. Als Grenze der Wahrnehmbarkeit eines weißen Gegenstandes auf schwarzem Grunde nimmt man den Sehwinkel von 30 Sekunden an, so daß eine weiße Fläche von 1 m Durchmesser noch in einer Entfernung von 7000 m, also in einer Entfernung, welche 7000 mal ihren Durchmesser übertrifft, gesehen werden kann. Unser Urteil über die scheinbare Größe der Gegenstände hängt aber nicht blos vom Sehwinkel ab, sondern auch 1) von der Stärke des Lichtes, weshalb selbstleuchtende Körper, wie die Fixsterne, mit sehr intensivem Lichte unter äußerst kleinen Winkeln, die noch nicht eine Sekunde erreichen, sichtbar sind; 2) davon, wie groß wir uns die Entfernung zwischen uns und ihnen denken.

Figur 61.



Figur 62.



In horizontalen Entfernungen halten wir die Körper für größer, als in gleich großen senkrechten, wegen der vielen Gegenstände zwischen uns und den betrachteten Körpern, und diese falsche Vorstellung veranlaßt das Urteil, als sei ein Körper am Horizonte größer, als wenn

er sich in derselben Entfernung hoch über dem Horizonte befindet, wie uns z. B. die Sonne beim Auf- und Untergange größer zu sein scheint, als in bedeutenden Höhen; 3) von der Kenntnis der wahren Größe ꝛc.

Optische Täuschungen an langen Baumalleen, langen Straßen, an den parallelen Wänden langer Gänge, an der Decke derselben, an langen Häusern, an den parallel neben einander fortlaufenden Schienen der Eisenbahnen u. s. w. Sonne und Mond scheinen gleich groß zu sein, wiewohl sie sehr verschiedener Größe sind. Die Sonne erscheint uns bei ihrer mittleren Entfernung von der Erde unter einem Winkel von 32′ 3,3″; die Erde von der Sonne aus gesehen, würde dagegen unter einem Winkel von nur 17,2″ erscheinen. — Perspektive. — Die Köpfe von Personen, mögen die einen 2 m, die anderen 10 m von uns entfernt sein, erscheinen uns gleich groß.

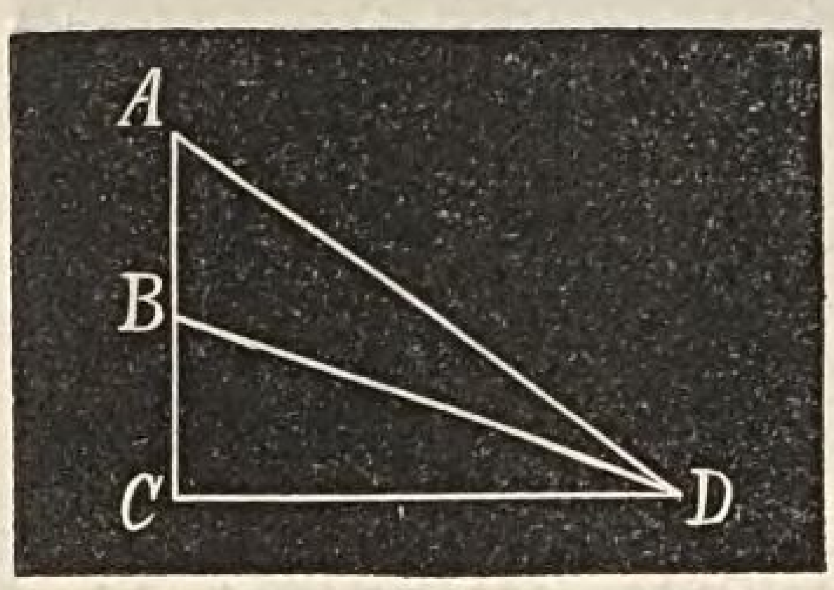
1) Nicht die Sehwinkel, sondern die Tangenten der Sehwinkel nehmen ab, wie die Entfernungen zunehmen, denn wenn in Figur 62 der Gegenstand AB senkrecht stehend angenommen wird, C und D aber zwei Standpunkte sind, so ist:

$$\operatorname{tg} ACB = \frac{AB}{BC} \text{ und } \operatorname{tg} ADB = \frac{AB}{BD}, \text{ also}$$

$$\operatorname{tg} ACB : \operatorname{tg} ADB = \frac{AB}{BC} : \frac{AB}{BD} = BD : BC.$$

2) Sind in Figur 63 AC und BC zwei ungleich große Gegenstände, so steht:

Figur 63.



$$\operatorname{tg} ADC : \operatorname{tg} BDC = \frac{AC}{CD} : \frac{BC}{CD} = AC : BC,$$

d. h. die Tangenten der Sehwinkel zweier gleich weit entfernter Gegenstände verhalten sich zu einander, wie ihre wahren Größen. Sind die Winkel klein und soll die Bestimmung nur beiläufig richtig sein, so kann man statt der Tangenten der Winkel die Winkel selbst setzen.

3) Ist $BC = 5\,\text{m}$, $BDC = 30''$, so führt $\frac{BC}{CD} = \operatorname{tg} CDB$ auf $CD = \frac{BC}{\operatorname{tg} BDC} = \frac{5}{\operatorname{tg} 30''} = 34363\,\text{m}$

154. Bis auf den dänischen Astronomen **Olof Römer**, 1675, hielt man die Fortpflanzung des Lichtes für augenblicklich. Er hat zuerst durch genaue Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupiter-trabanten bewiesen, daß sie zwar nicht augenblicklich, aber doch so schnell geschieht, daß das Licht den Weg von der Sonne bis zu uns, über 20,000,000 Meilen, in fast 8 Minuten zurücklegt, welches eine Geschwindigkeit von mehr als 40,000 geographischen Meilen in der Sekunde giebt. Die Geschwindigkeit des Lichtes ist fast das Millionen-fache von der des Schalles, weshalb sie bei allen noch so großen Entfernungen auf der Erde als augenblicklich angenommen werden kann. (§ 144, 2.)

Von dem entferntesten Planeten Neptun gelangt das Licht zu uns in etwa $5^1/_2$ Stunden, vom nächsten Fixsterne aber erst nach mehr als 3 Jahren, und von den entferntesten Fixsternen nach Jahrhunderten, vielleicht nach Jahrtausenden. Einen etwa untergegangenen Fixstern würden wir noch so lange am Himmel zu sehen glauben, als das letzte von ihm ausgesendete Licht noch nicht zu uns gelangt ist.

Olof Römers Beobachtung war folgende: Er beobachtete zu wiederholten Malen die Momente des Austritts eines Trabanten aus dem Schatten des Jupiters, natürlich auf der Ostseite des Schattens, während der Zeit von der Opposition bis zur Konjunktion des Jupiters, und eben so die Momente des Eintritts in den Schatten auf der Westseite desselben während der Zeit von der Konjunktion bis zur Opposition und fand, daß weder dort je zwei aufeinanderfolgende Austritte, noch hier zwei aufeinanderfolgende Eintritte nach genau gleicher Zeit erfolgten, was bei einer augenblicklichen Fortpflanzung des Lichtes doch durchaus hätte sein müssen, z. B. beim ersten Trabanten nach je 42 Stunden 28′ 35″, weil das seine Umlaufszeit ist. Die Austritte wurden desto später bemerkt, je mehr sich die Erde von der Opposition bis zur Konjunktion vom Jupiter entfernte, und die Eintritte desto früher, je mehr sich die Erde von der Konjunktion bis zur Opposition dem Jupiter näherte. Wenn nun in den 42 Stunden 28′ 35″ die Erde sich um 590000 Meilen weiter vom Jupiter entfernt hatte und die Verfinsterung des Trabanten erst 14″ später eintrat, so brauchte das Licht 14″ um jene 590000 Meilen zu durchlaufen, legte also etwa 42000 Meilen in einer Sekunde zurück. — Ein anderer Beweis für diese Geschwindigkeit beruht auf der Aberration des Lichtes. (Bradley 1727.) Fizeau in Paris, 1846, maß dieselbe mittelst eines Drehspiegels 42569 Meilen in der Sekunde. Nach neueren Berechnungen Struves ergiebt sich aus der Aberration des Lichtes die Geschwindigkeit von 40130 Metermeilen. Foucault fand nach einer der Fizau'schen ähnlichen Methode 40150 Meilen. Eine derartige Übereinstimmung des Resultates, das auf ganz verschiedenen Wegen erhalten wurde, bürgt für die Sicherheit desselben. Es entspricht sehr nahezu einer Geschwindigkeit von 300000 Kilometern in der Sekunde.

II. Die Katoptrik oder die Lehre von der Zurückwerfung des Lichtes.

155. Jede gut polierte Fläche heißt hier ein **Spiegel**. Die Spiegel sind entweder **ebene** (Planspiegel), oder **krumme** Spiegel; die letzteren sind entweder **konkav** (hohl), oder **konvex** (erhaben), nach der Beschaffenheit der polierten Fläche selbst. Von den krummen Spiegeln werden hier nur die Kugelspiegel oder sphärischen Spiegel näher betrachtet.

Natürliche Spiegel sind: die Oberfläche des ruhenden Wassers, des Quecksilbers, die Krystalloberflächen u. s. w.; künstliche vorzüglich: Glas und Metall-Spiegel, von denen zu katoptrischen Zwecken sich die letzteren am besten eignen.

156. Die aus Beobachtungen abgeleiteten Hauptgesetze der Katoptrik sind: 1) **Der Zurückstrahlungs- oder Reflexionswinkel ist immer gleich dem Einfallswinkel.** 2) **Das Einfallslot und die beiden Strahlen, der einfallende und der zurückgeworfene, liegen immer in derselben Ebene, welche Reflexionsebene heißt und auf der reflektierenden Ebene senkrecht steht.**

Das Einfallslot ist das Lot auf der Spiegelfläche in demjenigen Punkte, welchen der Lichtstrahl trifft. — Der Einfallswinkel hat zu seinen Schenkeln den einfallenden Strahl und das Einfallslot; der Zurückstrahlungswinkel dagegen den zurückgeworfenen Strahl und das Einfallslot.

1. Von den ebenen Spiegeln.

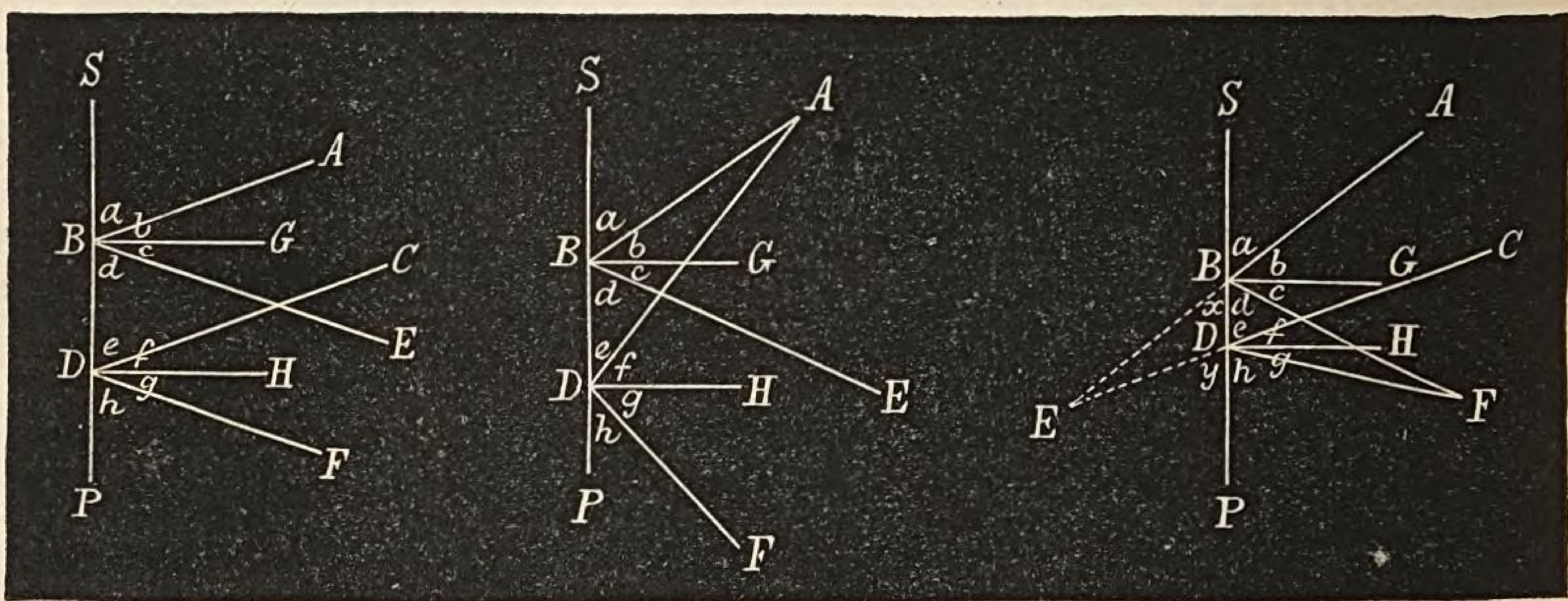
157. 1) Aus jenen Gesetzen ergiebt sich für Planspiegel folgendes: Parallel auffallende Strahlen bleiben auch nach der Zurückwerfung parallel, wie die konvergenten konvergent, die divergenten divergent, was sich mit Zuziehung einiger geometrischer Sätze zeigen läßt.

In Figur 64 sei SP der senkrechte Durchschnitt eines ebenen Spiegels, $AB \# CD$ die einfallenden Strahlen, BG und DH die Einfallslote, BE und DF die zurückgeworfenen Strahlen, so ist, weil $a = e$ und $b = f$, desgleichen $b = c$ und $f = g$, auch $c = g$, sowie $d = h$; mithin $DF \# BE$.

Sind in Figur 65 AB und AD aus dem Punkte A kommende, auf den Spiegel also divergent auffallende Strahlen, so steht: $c + d + e + f = 2R$; da aber $a > e$, mithin $b < f$ und $c < g$, so ist $d + e + f + g > 2R$ und darum divergieren BE und DF.

Sind endlich in Figur 66 AB und CD konvergente Strahlen, die sich erst hinter dem Spiegel in E vereinigen würden, so steht: $c + d + e + f = 2R$; da aber $y > x$, also auch $e > a$, mithin $f < b$, sowie $g < c$, so ist: $d + e + f + g < 2R$ und darum konvergieren die zurückgeworfenen Strahlen und schneiden sich daher hinlänglich verlängert in F.

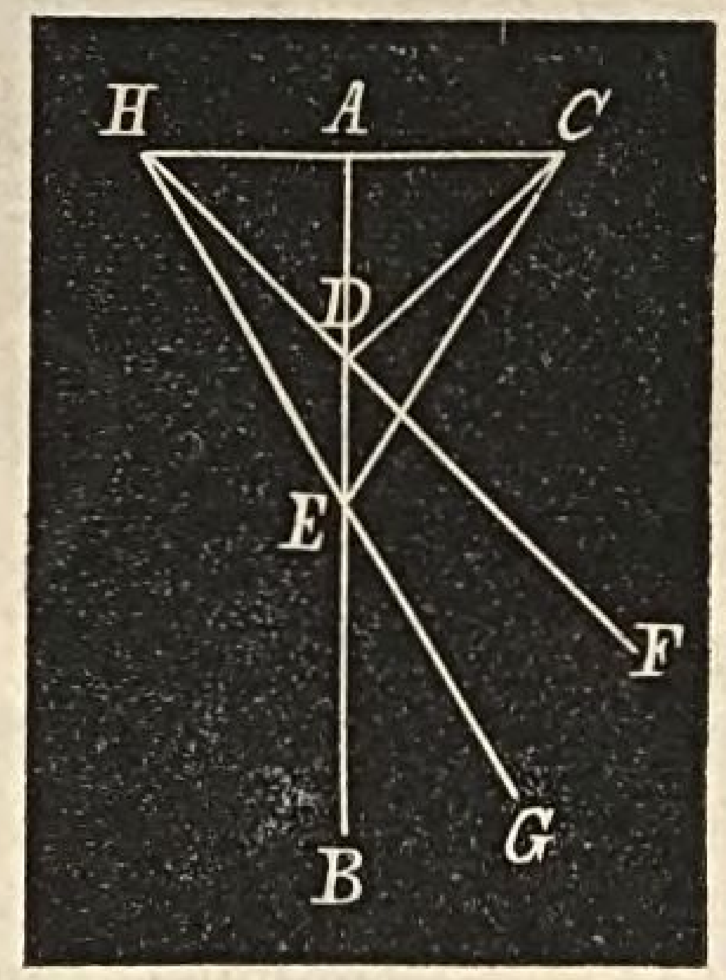
Figur 64. Figur 65. Figur 66.



2) Alle Strahlen, die aus einem leuchtenden Punkte kommen, werden so zurückgeworfen, daß es scheint, als kämen sie aus einem Punkte hinter dem Spiegel, wohin auch ein Auge, welches die zurückgeworfenen Strahlen treffen, den leuchtenden Punkt versetzt. Dieser Punkt ist der Durchschnittspunkt der rückwärts verlängerten zurückgeworfenen Strahlen; er heißt das geometrische Bild des leuchtenden Punktes, auch sein subjektives Bild, da es nichts objektiv Vorhandenes ist, sondern nur dem Auge des Beobachters, des sehenden Subjekts, erscheint. Es läßt sich geometrisch beweisen, daß das Bild eben so weit hinter dem Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt vor demselben; daß man also den Ort desselben findet, wenn man vom leuchtenden Punkte auf den Spiegel einen Perpendikel fällt, und diesen hinter die Spiegelfläche um seine eigene Größe verlängert; dieser Verlängerung Endpunkt ist dann der Ort des Bildes.

Von den vielen in Figur 67 aus C auf den senkrechten Durchschnitt AB eines Planspiegels fallenden Strahlen betrachten wir nur CD und CE, die längs DF und EG divergierend zurückgeworfen werden. Ein Auge, welches von DF und EG getroffen wird, versetzt den leuchtenden Punkt in die Richtung, in welcher es durch die reflektierten Strahlen DF und EG den Lichteindruck erhalten hat, nach H; zieht man nun HC, so ist:

Figur 67.

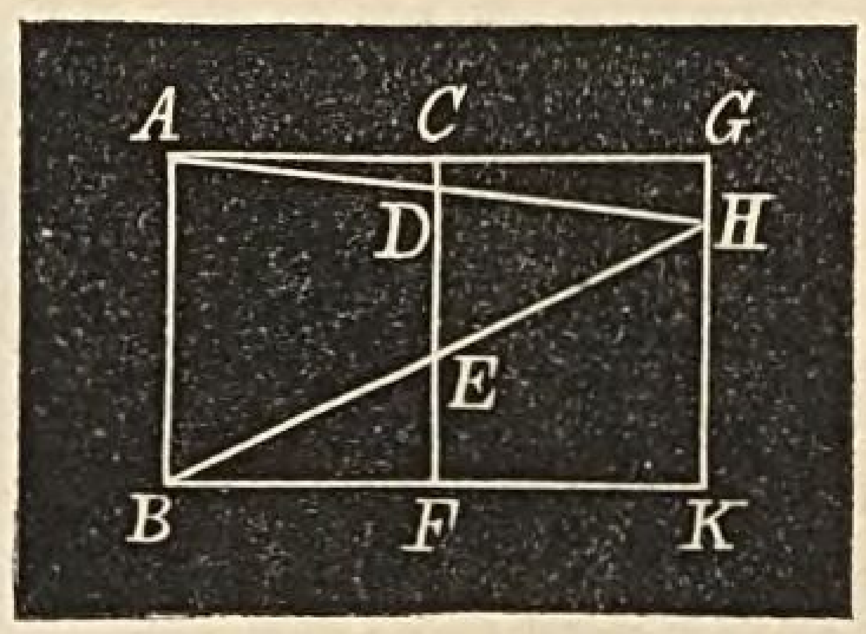


$\triangle HDE \cong \triangle CDE$ $CDE = DE$, und die beiden anliegenden Winkel sind in den beiden Dr. $=$), also $HE = EC$; mithin $\triangle HEA \cong \triangle AEC$ (zwei Seiten und der eingeschlossene Winkel), mithin $\angle HAE = \angle EAC = R$ und $HA = AC$.

3) **Das Bild eines ganzen Objektes, welches hier nur als eine Summe leuchtender Punkte zu betrachten ist, befindet sich eben so weit hinter dem Spiegel, als dieses vor demselben, hat dabei dieselbe Größe und Gestalt; nur daß, was beim Objekte links, im Bilde rechts liegt, und so umgekehrt.**

Die Bäume und alle andern Gegenstände an den Ufern der Flüsse erscheinen daher in dem horizontalen Wasserspiegel verkehrt; wie in den, unter einem Winkel von 45^0 gegen den Horizont geneigten, Spiegeln die liegenden Gegenstände aufrecht, die aufrechten liegend. — Ein Spiegel, in dem sich ein Mensch ganz sehen soll, muß mindestens halb so hoch, und halb so breit als er sein; denn wenn in Figur 68 CF einen senkrecht stehenden Spiegel, H das Auge des durch GK bezeichneten Menschen vorstellt, und AHB der Sehwinkel des Bildes ist, so steht, wenn $CG = AC$:

Figur 68.

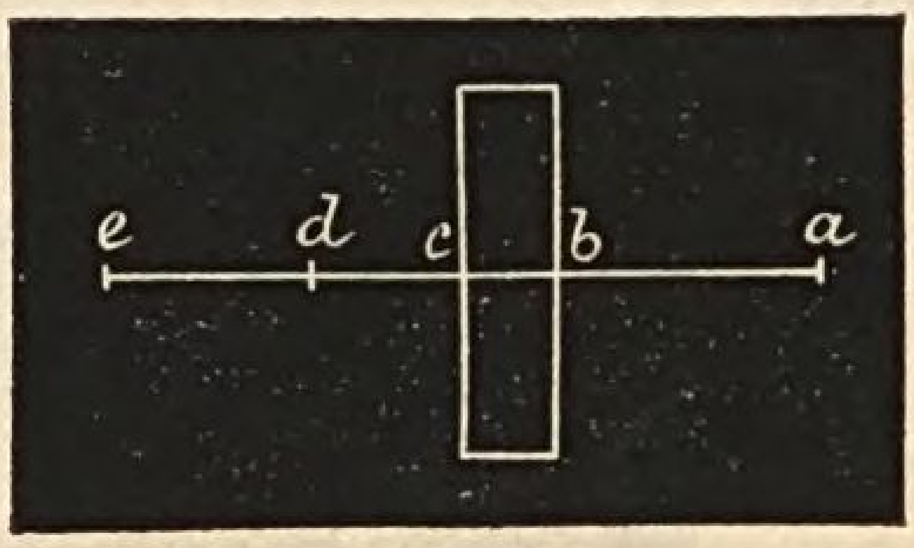


$$\left.\begin{array}{l} AB : DE = BH : EH \\ BK : FK = BH : EH \end{array}\right\} \begin{array}{l} AB : DE = BK : FK \\ GK : DE = 2FK : FK \end{array}$$
$$DE = \tfrac{1}{2} GK$$

Winkelspiegel geben vervielfältigte Bilder, und zwar so viele, als oft die Anzahl der Grade des Winkels in 360 enthalten ist, weniger Eins; bilden die Spiegel z. B. einen Winkel von 60^0, so zeigen sich um den Punkt, wo die Spiegel zusammentreffen, 5 Bilder, welche mit dem Gegenstande selbst eine symmetrisch regelmäßige sechsseitige Figur darstellen; so wie in zwei parallel aufgestellten Spiegeln unendlich viele, immer weiter entferntere Bilder entstehen, indem das in einem Spiegel entstandene Bild für den andern Spiegel immer zum Objekte wird. Dort müssen einmal die Bilder außerhalb dem zu jedem Spiegel gehörenden Raume fallen, also sich abzubilden aufhören, während sie hier immer darin bleiben müssen; daher dort die Anzahl der Bilder begrenzt ist, hier aber unbegrenzt wäre, wenn nicht bei jeder Zurückwerfung ein Teil des Lichtes zurückgeworfen bliebe, und dadurch die Bilder immer schwächer leuchteten, und wegen der immer größer werdenden Entfernung auch immer kleiner erschienen; gewöhnlich sieht man nur 6—8 Bilder.

Daß unsere gewöhnlichen Glasspiegel zwei Bilder geben, liegt daran, daß die Vorderfläche und die Hinterfläche Strahlen zurückwerfen, wenn auch die letztere wegen der Amalgambelegung viel stärker. Diese zwei Bilder sind immer um die doppelte Dicke des Spiegels von einander entfernt, denn in Figur 69, wo bc die Dicke des Spiegels, a ein Objekt, d und e die beiden Bilder vorstellen, ist 1) $ab = bc + cd$, 2) $ab + bc = cd + de$ und wenn (1) in (2) gesetzt

Figur 69.



wird, 3) $2bc + cd = cd + de$ oder $2bc = de$; oder auch so: $ac = ce$ und $ab = bd$, mithin $ac - ab = ce - bd$ oder $bc = ed + dc - (bc + cd)$ oder $= de - bc$ oder endlich $2bc = de$; oder auch für jede beliebige Dicke des Spiegels und für jede beliebige Entfernung des Objektes einfach so: ist z. B. der Spiegel 2 mm dick und beträgt die Entfernung des Objektes 5 cm, so ist das erste Bild 48 mm, das zweite aber 52 mm hinter der Hinterfläche des Spiegels; die Entfernung der Bilder von einander beträgt also 4 mm. Hierauf gründet sich die Prüfung der Dicke des Glases eines eingerahmten Spiegels. Hält man senkrecht über dem Spiegel eine Stecknadel, mit dem Köpfchen seine Fläche berührend, so fallen in Figur 69 a und d mit b zusammen, und ed, die Entfernung des Köpfchens von seinem Bilde, ist die doppelte Dicke des Glases. Es entstehen zuweilen noch mehrere Bilder, wenn das von der Hinterfläche zurückgeworfene Licht zur Vorderfläche nur zum Teil heraustritt, zum Teil aber von ihr nach der Hinterfläche und erst von dieser wieder in das Auge zurückgeworfen wird.

Auf den ebenen Spiegeln beruhen manche teils zur Unterhaltung, teils zu wissenschaftlichen Zwecken bestimmte optische Instrumente, z. B. das Kaleidoskop von Brewster in Edinburg, die Guck- und Spiegelkasten, das Polemoskop oder Zauberperspektiv, so wie die Spiegelzimmer; ferner der Heliostat und der Spiegel-Sextant — Pyramidenspiegel.

---

2. Von den sphärischen Spiegeln.

158. Bei den sphärischen Spiegeln nennt man die gerade Linie, welche durch den Mittelpunkt des Spiegels (optischen Mittelpunkt) und durch den Mittelpunkt der Kugel (geometrischen Mittelpunkt), von welcher der Spiegel ein Kugelabschnitt ist, gezogen gedacht wird, die Achse des Spiegels. Das Einfallslot ist hier immer der Kugelradius oder dessen Verlängerung nach demjenigen Punkte, in welchem der Strahl den Spiegel trifft; er ist ein Perpendikel auf der die Kugel in seinem Treffungspunkte berührenden Ebene.

a) Konkavspiegel.

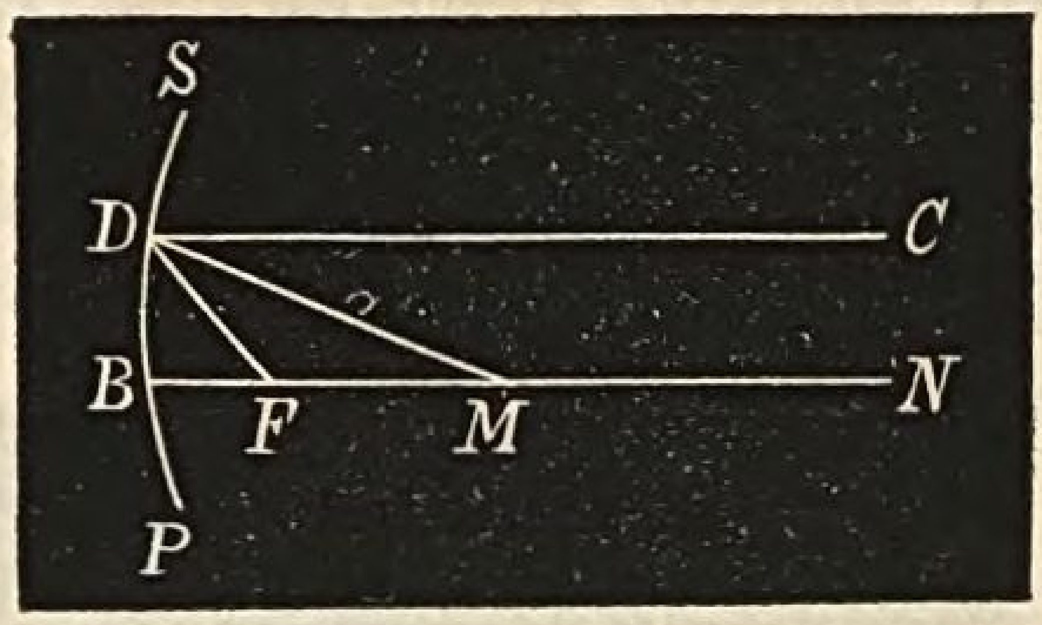
159. Aus den katoptrischen Hauptgesetzen ergeben sich leicht folgende Sätze für die Konkavspiegel:

1) Strahlen, welche parallel mit der Achse auf den Spiegel fallen, werden so zurückgeworfen, daß sie alle die Achse schneiden; liegen sie ihr nahe, so geschieht dieses etwa in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Mittelpunkte, und zwar desto genauer in der Mitte, je näher sie ihr sind. Brennpunkt oder Fokus — Brennweite oder Fokalentfernung.

Die Breite des Spiegels ist im Vergleich der Brennweite nur gering. — Brennraum. — Brennlinie. — Brennspiegel. — Sammelspiegel.

Ist in Figur 70 SP der senkrechte Durchschnitt eines Hohlspiegels, BN seine Achse, M der geometrische Mittelpunkt, CD der mit der Achse parallel auffallende Strahl, DM also das Einfallslot und DF der zurückgeworfene Strahl, so soll BF = FM sein. Nach dem katoptrischen Hauptgesetze ist $\angle$ CDM = $\angle$ MDF, und weil CD ⌗ BN, $\angle$ CDM auch = $\angle$ DMF, also auch $\angle$ MDF = $\angle$ DMF, mithin auch DF = MF; je näher aber DC an BN ist, desto mehr nähert sich DF an Größe der BF, desto mehr also auch BF der FM. Bei einer größeren Ausdehnung des Spiegels bilden die Durchschnittspunkte der reflektierten Strahlen eine krumme Linie: Brennlinie.

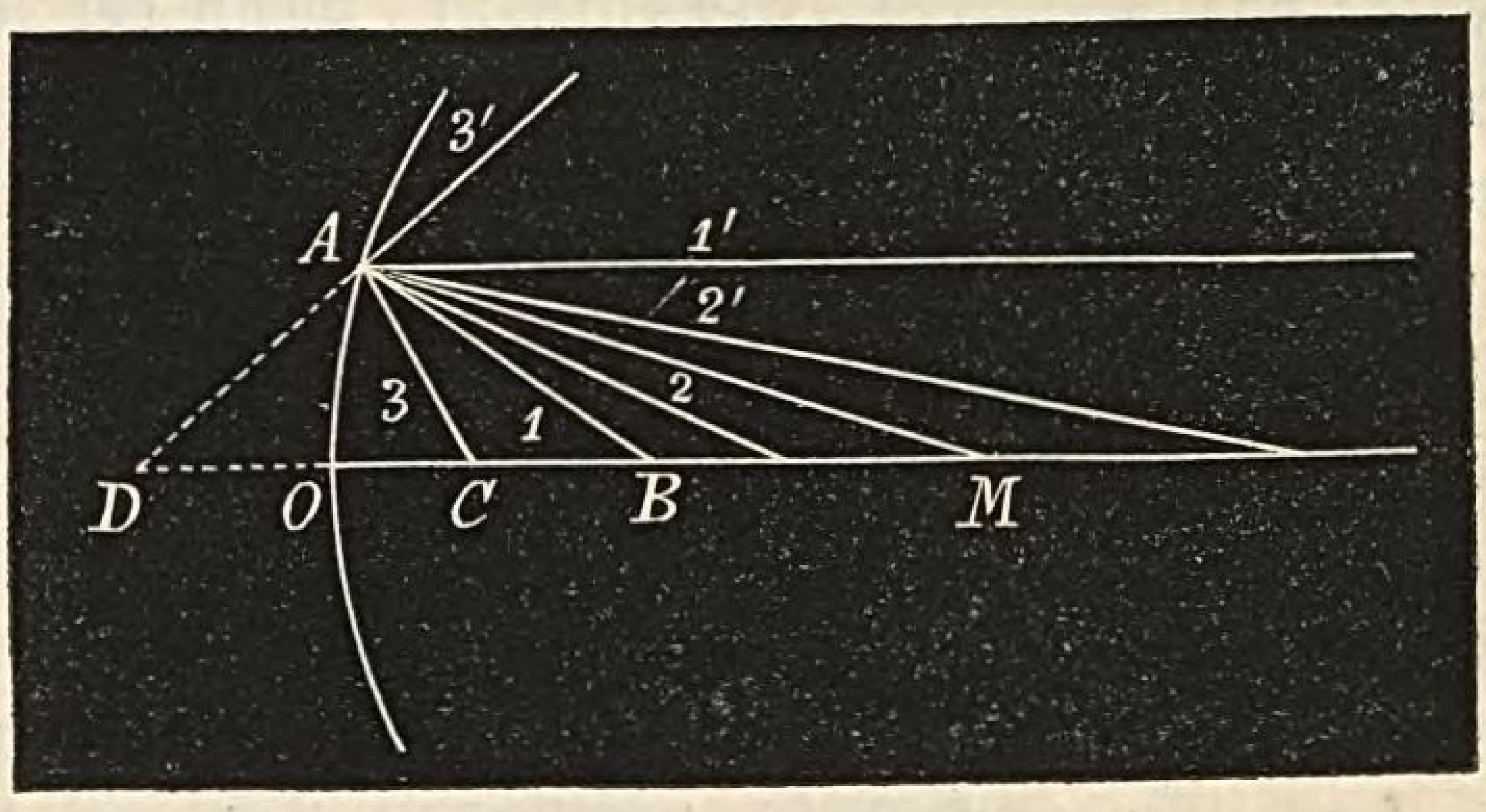
Figur 70.



Die zur Achse konvergenten Strahlen werden noch konvergenter; die divergenten können aber nach der Zurückwerfung konvergent, parallel oder weniger divergent werden, je nachdem die Größe ihrer Divergenz ist, was wieder von der Entfernung des leuchtenden Punktes abhängt.

Hält man fest, daß in Figur 71 ein Strahl wie AB als einfallender Strahl, also von B nach dem Spiegelpunkte A gehend, zur Achse divergent, als zurückgeworfener Strahl aber, also von dem Spiegelpunkte A nach B gehend, zur Achse konvergent genannt werden muß, so geht, wenn 1' und 1, 2' und 2, so wie 3' und 3 zusammengehören, indem sie mit dem Einfallslote AM paarweise gleiche Winkel bilden, und wenn die im folgenden angegebene erste Zahl immer den einfallenden, die zweite den zurückgeworfenen Strahl bezeichnet, aus der Zeichnung, in welcher 1' parallel zur Achse gedacht wird, folgendes hervor: — 1' und 1 zeigen, daß zur Achse parallele Strahlen durch die Zurückwerfung konvergent werden. — 3' und 3, daß konvergente Strahlen konvergenter werden, denn bei ungehindertem Laufe würde 3' in die verlängerte Achse in D einschneiden, aber in A zurückgeworfen, schneidet sie schon in C ein, so daß ACB > ADB ist — aus 1 und 1', daß divergente Strahlen parallel, aus 2 und 2' so wie aus 2' und 2, daß divergente Strahlen auch konvergent, aus 3 und 3' endlich, daß divergente Strahlen auch weniger divergent werden können, da ADB < ACB ist.

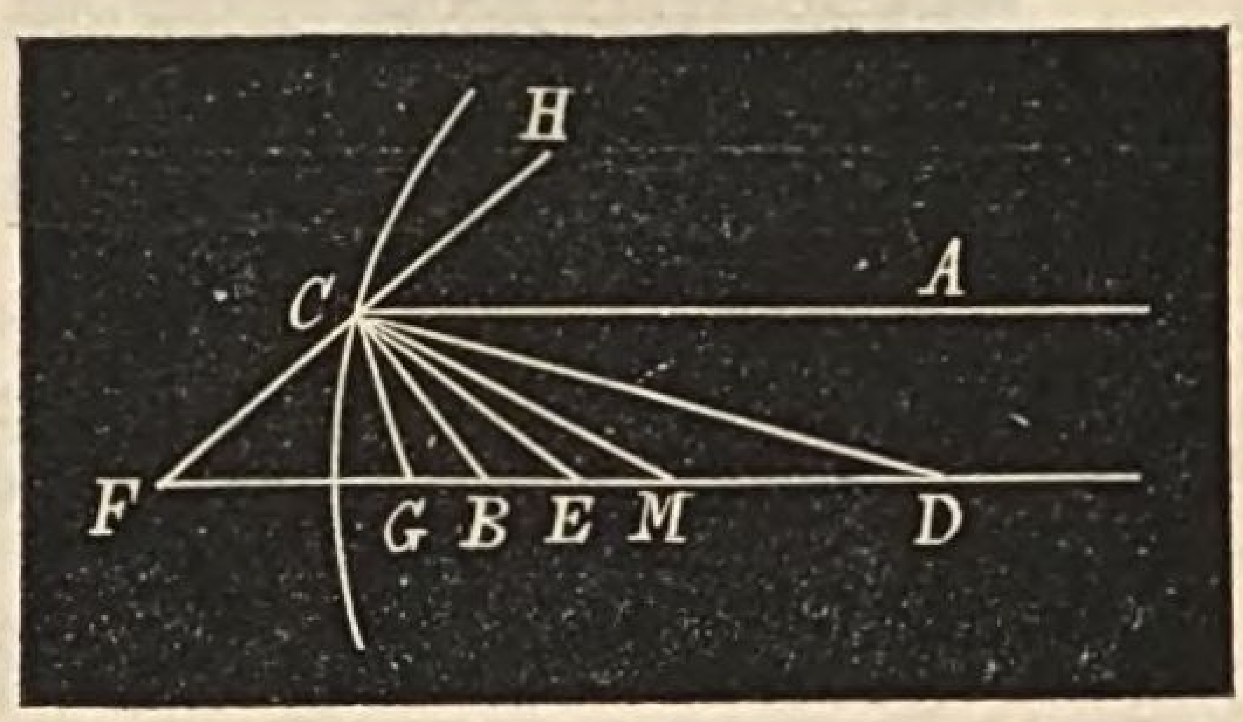
Figur 71.



2) Bei der Untersuchung der Bilder, welche Hohlspiegel geben, werden wir auch zuerst die Bilder einzelner leuchtender Punkte, und zwar in und außerhalb der Achse, und dann erst die Bilder ganzer Objekte, welches auch immer ihre Entfernung vom Spiegel sein mag, bestimmen. Das Bild eines leuchtenden Punktes ist überhaupt da, wo sich alle Strahlen desselben nach der Zurückwerfung kreuzen; es ist also hinreichend, den Durchschnittspunkt zweier reflektierter Strahlen zu kennen. Ist nun der leuchtende Punkt in der Achse, so kann diese selbst als der eine Strahl angenommen werden, der in sich selbst zurückgeworfen wird, und man erhält also den Ort des Bildes, wenn man noch einen Strahl außer der Achse annimmt und seine Zurückwerfung bestimmt. Der Ein=

schnittspunkt dieses zurückgeworfenen Strahles in die Achse ist der Ort des Bildes. Fällt nun in Figur 72 auf den Spiegel in C ein Strahl des leuchtenden Punktes in der Achse aus unendlicher Entfernung, so ist dieser Strahl wegen des verschwindend kleinen Winkels, welchen er mit der Achse bildet, als zu ihr parallel zu betrachten und daher das Bild in den Brennpunkt B zu versetzen.

Figur 72.



Ist D ein in endlicher Entfernung vor dem geometrischen Mittelpunkt M in der Achse liegender Punkt, so wird D C M desto < A C M, je näher D am geometrischen Mittelpunkte M liegt, also auch M C E desto < M C B, d. h. indem der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung nach dem geometrischen Mittelpunkte M rückt, rückt sein Bild vom Brennpunkte B auch dahin; in M selbst müssen beide zusammenfallen, weil jeder senkrechte Strahl in sich selbst zurückgeworfen wird. Indem der leuchtende Punkt von M nach B rückt, muß das Bild von M ins unendliche fortrücken, weil nun der einfallende Strahl gleichsam an die Stelle des bisher zurückgeworfenen und dieser an die Stelle jenes tritt, weshalb denn auch jeder aus B kommende Strahl mit der Achse parallel zurückgeworfen werden muß, was zur Folge hat, daß kein Bild entsteht, wenn der leuchtende Punkt im Brennpunkte sich befindet. Man sagt wohl auch, es entstehe ein Bild in unendlicher Entfernung **vor** oder **hinter** dem Spiegel, welches letztere insofern passend ist, als bei noch weiterem Fortrücken des leuchtenden Punktes sein Bild auf der Rückseite des Spiegels erscheint. Ist nämlich der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so ist ja G C M desto > B C M, also auch H C M desto > A C M, je näher er am Spiegel ist, d. h. der zurückgeworfene Strahl C H kann die Achse auf der Vorderseite des Spiegels nicht schneiden, ihr auch nicht parallel sein, sondern er kann sie rückwärts verlängert nur auf der Rückseite des Spiegels schneiden, und zwar desto näher am Spiegel selbst, je näher ihm auf der Vorderseite der leuchtende Punkt ist. Indem also der leuchtende Punkt auf der Achse aus unendlicher Entfernung nach dem Brennpunkte rückt, rückt das Bild vom Brennpunkte ins unendliche, indem sie sich im geometrischen Mittelpunkte begegnen; indem jener vom Brennpunkte weiter nach dem Spiegel rückt, kommt ihm dieses auf der Rückseite des Spiegels aus unendlicher Entfernung entgegen, so daß sie auf der Spiegelfläche selbst zusammentreffen.

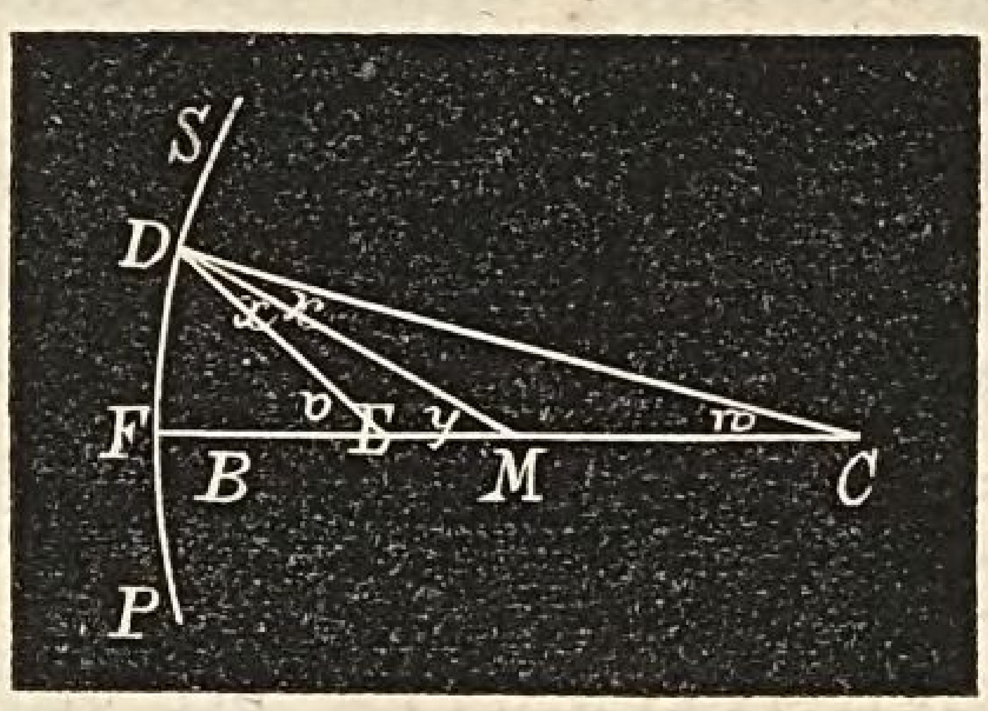
Wo ist also das Bild, wenn der leuchtende Punkt auf der Achse sich befindet a) in unendlicher Entfernung, b) im geometrischen Mittelpunkte, c) im Brennpunkte, d) innerhalb der Brennweite, e) auf der Spiegelfläche selbst?

Die divergenten Strahlen eines leuchtenden Punktes in der Achse haben also entweder eine wirkliche Vereinigung vor dem Spiegel, wenn sie durch die Zurückwerfung konvergent geworden sind, was so lange

der Fall ist, als der leuchtende Punkt sich außerhalb der Brennweite befindet; oder sie haben eine scheinbare Vereinigung hinter dem Spiegel, wenn sie durch die Zurückwerfung weniger divergent geworden sind, was dann der Fall ist, wenn der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite ist; oder sie haben endlich gar keine Vereinigung, wenn sie durch die Zurückwerfung parallel werden, was nur dann stattfindet, wenn der leuchtende Punkt im Brennpunkte ist.

Wenn nun die aus dem Vereinigungspunkte wieder divergent ausgehenden Strahlen ein Auge treffen, so sieht dieses dort ein Bild des leuchtenden Punktes. Dieser Vereinigungspunkt ist für das Auge gleichsam ein leuchtender, ihm also Strahlen zusendender Punkt. Das Bild heißt physisch oder ein Luftbild, wenn die Vereinigung der Lichtstrahlen wirklich vor dem Spiegel stattfindet; geometrisch dagegen, wenn sie nur hinter dem Spiegel zu sein scheint; jenes ist ein objektives, dieses ein subjektives Bild.

Figur 73.



Alle diese Fälle sind in folgender Hauptformel der Katoptrik enthalten. Ist in Figur 73 C ein leuchtender Punkt, also CF = a seine Entfernung vom Spiegel, CD der auffallende, DE der zurückgeworfene Strahl, also FE = α die Entfernung des Bildes vom Spiegel, DM das Einfallslot = FM = r, so steht nach planimetrischen Gründen, weil DM den Winkel EDC halbiert:

DC : DE = MC : ME; liegt aber D sehr nahe an F, so kann man setzen DC = FC und DE = FE, mithin;

FC : FE = MC : ME also wenn die Brennweite p heißt:

$a : \alpha = a - r : r - \alpha$, oder $a : \alpha = a - 2p : 2p - \alpha$,

also $\alpha\,(a - r) = a\,(r - \alpha)$, oder $\alpha\,(a - 2p) = a\,(2p - \alpha)$,

hieraus $\alpha = \dfrac{ar}{2a - r}$ oder $\alpha = \dfrac{ap}{a - p}$,

welcher letzteren Formel eine leicht zu merkende Gestalt gegeben werden kann, nämlich $\alpha = \dfrac{ap}{a - p}$ giebt $a\alpha - p\alpha, = ap$ nun mit $\alpha a p$ dividiert

ist $\dfrac{1}{p} - \dfrac{1}{a} = \dfrac{1}{\alpha}$ oder: $\dfrac{1}{p} = \dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{\alpha}$, d. h. der umgekehrte Wert der Brennweite ist gleich der Summe aus den umgekehrten Werten der Entfernungen des leuchtenden Punktes und seines Bildes.

Diese wichtige Formel läßt sich auch so finden:

$$\left.\begin{array}{l} y = v - x \\ y = w + x \end{array}\right\}\ 2y = v + w, \text{ mithin}$$

$v - y = y - w$, oder da diese Winkel alle sehr klein sind:

$tg\,v - tg\,y = tg\,y - tg\,w$ oder da D sehr nahe an F liegt, DF also als eine gerade auf FC senkrechte Linie betrachtet werden kann,

$$\frac{DF}{FE} - \frac{DF}{FM} = \frac{DF}{FM} - \frac{DF}{FC} \text{ oder: } \frac{1}{FE} - \frac{1}{FM} = \frac{1}{FM} - \frac{1}{FC},$$

$$\text{also } \frac{2}{FM} = \frac{1}{FE} + \frac{1}{CF} \text{ oder: } \frac{2}{r} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} \text{ oder}$$

$$\text{endlich: } \frac{1}{p} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a}.$$

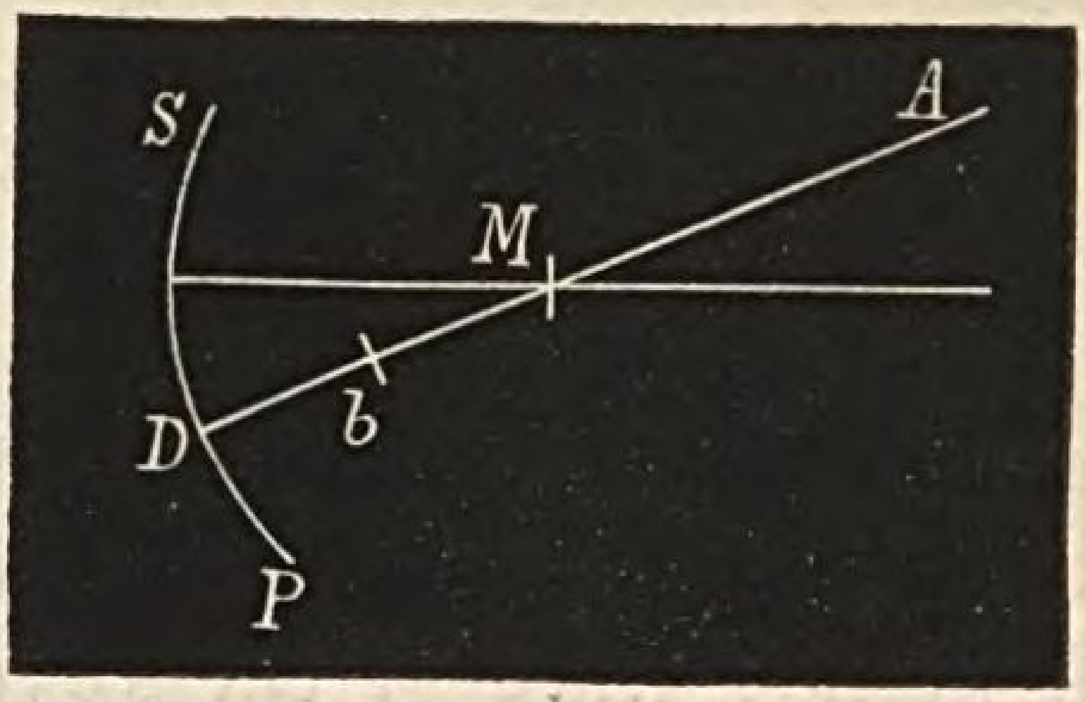
Beispiele für bestimmte Werte von p, a, z. B. für p = 2cm und a = 45mm steht:

$$1/_{20} = \frac{1}{\alpha} + 1/_{45} \text{ oder: } 9\alpha = 180 + 4\alpha \text{ oder: } 5\alpha = 180,$$

$$\text{mithin } \alpha = 36\,\text{mm}.$$

so wie p = 2cm, a = 40mm, richtig giebt $\alpha = 40$mm.

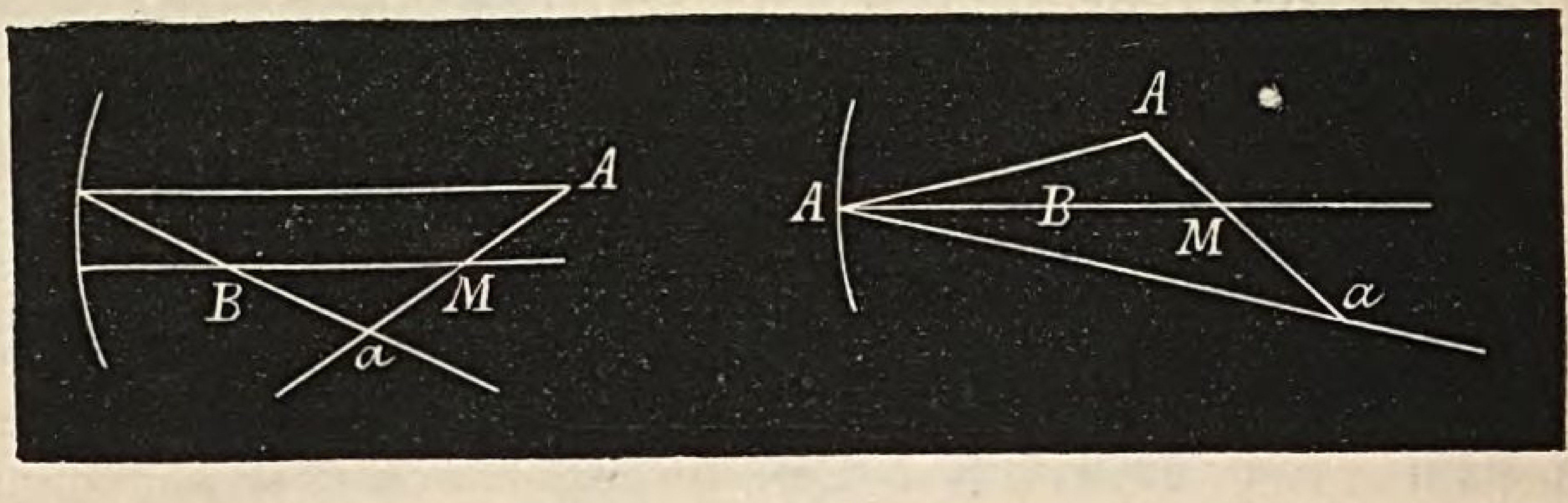
Figur 74.



3) Ist der leuchtende Punkt außerhalb der Achse, so verhalten sich alle Strahlen zum Hauptstrahle, d. h. demjenigen Strahle, der durch den geometrischen Mittelpunkt geht, gerade so, wie in dem Falle, wo er in der Achse liegt, sich alle Strahlen zur Achse verhalten. In den Hauptstrahl fallen nämlich alle Bilder des in seiner Richtung sich bewegenden leuchtenden Punktes, in Bezug auf die Achse des Spiegels aber liegen diese Bilder immer außerhalb derselben, ausgenommen, wenn das Bild in den Durchschnittspunkt des Hauptstrahles und der Achse fällt. Ist in Figur 74 A der leuchtende Punkt und M der geometrische Mittelpunkt, A D also der Hauptstrahl, so können wir uns D als optischen Mittelpunkt eines Spiegels denken, und dann muß, wenn A unendlich weit entfernt ist, sein Bild in b liegen, wenn D b = b M ist; wenn A nach M rückt, muß das Bild von b nach M rücken 2c. Diese Betrachtung zeigt, daß ein leuchtender Punkt über, unter oder seitwärts der Achse des Spiegels sein Bild auch über, unter oder seitwärts derselben hat, und zwar bei physischen Bildern immer entgegengesetzt liegend.

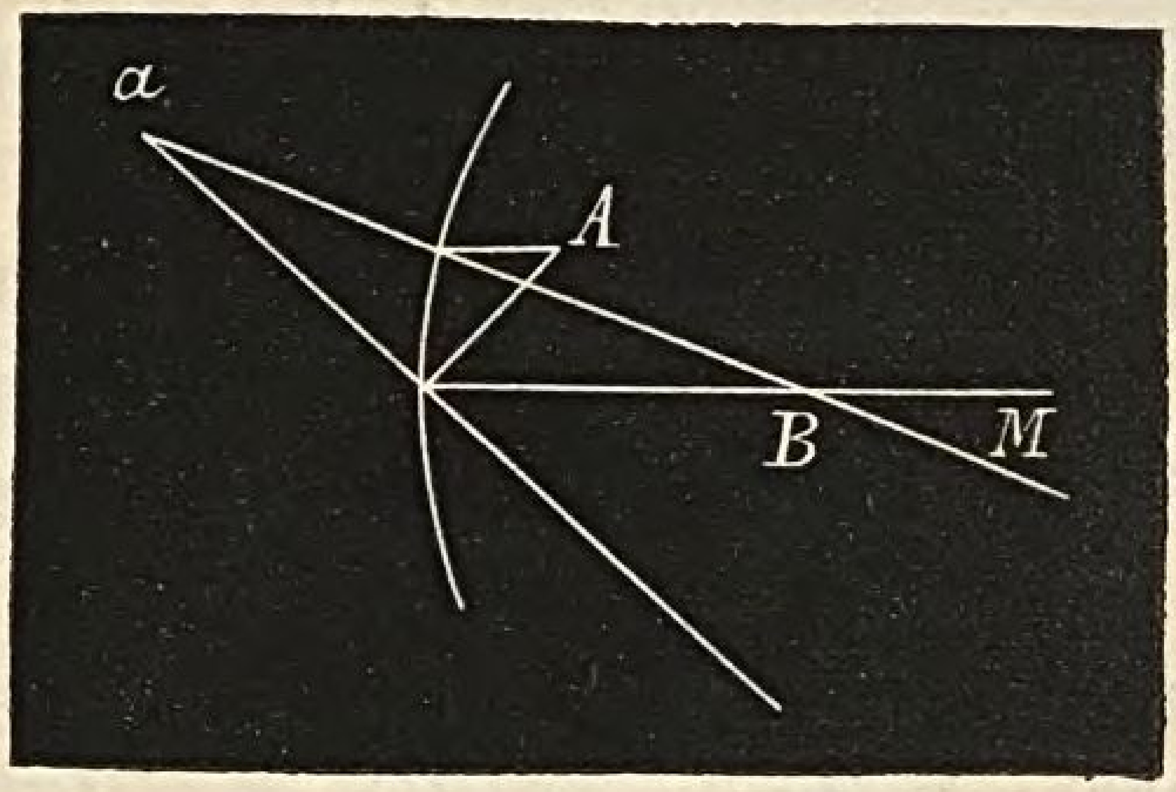
Auch durch Konstruktion läßt sich die Sache deutlich übersehen, indem man den Durchschnittspunkt zweier zurückgeworfener Strahlen bestimmt. Wenn es auch im allgemeinen zwei ganz beliebige Strahlen sein können, so sind sie doch nicht alle gleich bequem für die Zeichnung. Es eignen sich hierzu am besten drei Strahlen: nämlich der zur Achse parallele, der Hauptstrahl, und der nach dem optischen Mittelpunkte gehende. Man wählt von diesen entweder den Hauptstrahl, der in sich selbst, und den mit der Achse parallel auffallenden, der durch den Brennpunkt zurückgeworfen wird; oder den Hauptstrahl und den nach dem optischen Mittelpunkte, der zurückgeworfen mit der Achse auf der andern Seite denselben Winkel bilden muß; oder endlich den mit

Figur 75. Figur 76.



der Achse parallel auffallenden und den nach dem optischen Mittelpunkte gehenden. Diese drei Methoden stellen die Figuren 75, 76 und 77 vor, indem A der leuchtende Punkt, a aber sein Bild ist.

Figur 77.



Die Formel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ findet auch hier Anwendung; p, a und α müssen aber auf den Hauptstrahl bezogen werden.

4) Nun ist es auch im allgemeinen leicht, die Lage, Größe und Entfernung der Bilder ganzer Objekte in jedem einzelnen Falle durch Konstruktion zu bestimmen. Man hat nur nötig, die Bilder der äußersten Punkte zu bestimmen, und diese durch eine gerade Linie zu verbinden, und stellt man das Objekt so auf die Achse senkrecht, daß es durch diese halbiert wird, so bestimmt man nur das Bild eines Endpunktes, fällt von da einen Perpendikel auf die Achse und verlängert ihn auf die andere Seite derselben um seine eigene Länge. Auf diese Weise findet man folgende Ergebnisse, welche die Erfahrung auch bestätigt. Rückt das Objekt aus unendlicher Entfernung dem geometrischen Mittelpunkte zu, so rückt sein Bild ihm entgegen aus dem Fokus bis dahin, ist dabei physisch, verkehrt, kleiner als das Objekt; aber immer größer werdend, bis es im geometrischen Mittelpunkte, wo es auf das Objekt fällt, mit ihm dieselbe Größe erreicht. Nähert sich das Objekt vom geometrischen Mittelpunkte dem Fokus, so entfernt sich das Bild von dort ins unendliche, ist physisch, verkehrt und wird immer größer verschwindet aber ganz, wenn das Objekt den Fokus erreicht hat. Nähert sich endlich das Objekt vom Fokus dem Spiegel, so erscheint das Bild hinter der Spiegelfläche, ist geometrisch, aufrecht, größer als das Objekt, und rückt aus unendlicher Entfernung, immer kleiner werdend, dem Spiegel zu und erhält mit ihm dieselbe Größe, sobald es mit ihm auf der Spiegelfläche zusammenzufallen scheint.

Man bestimmt den Brennpunkt eines Brennspiegels unter andern, indem man ihn vor die Sonne hält und die Entfernung des kleinsten Sonnenbildes, welches mit einem Blatte Papier aufgefangen wird, mißt.

Die Anwendung der Konkavspiegel als Erleuchtungsspiegel bei den Straßen- und Flurlaternen, so wie auf Leuchttürmen beruht darauf, daß die aus dem Brennpunkte auf den Konkavspiegel fallenden Strahlen von demselben parallel zurückgeworfen werden. — Die Anwendung der Konkavspiegel als

Brennspiegel dagegen umgekehrt darauf, daß die mit der Achse parallel auf den Konkavspiegel auffallenden Wärmestrahlen, welche im Sonnenlichte mit den Lichtstrahlen verbunden und denselben Gesetzen der Zurückwerfung unterworfen sind (§ 187), nach dem Brennpunkte reflektiert werden. Die Anwendung der Konkavspiegel endlich als Zauberspiegel beruht darauf, daß die Luftbilder, als durch wirkliche Vereinigung der zurückgeworfenen Lichtstrahlen entstanden, nicht nur mittelst Flächen aufgefangen werden können, sondern sich auch bei stattfindender Bewegung der sie hervorbringenden Gestalten, welche sich stets außerhalb der Brennweite befinden, selbst bewegen.

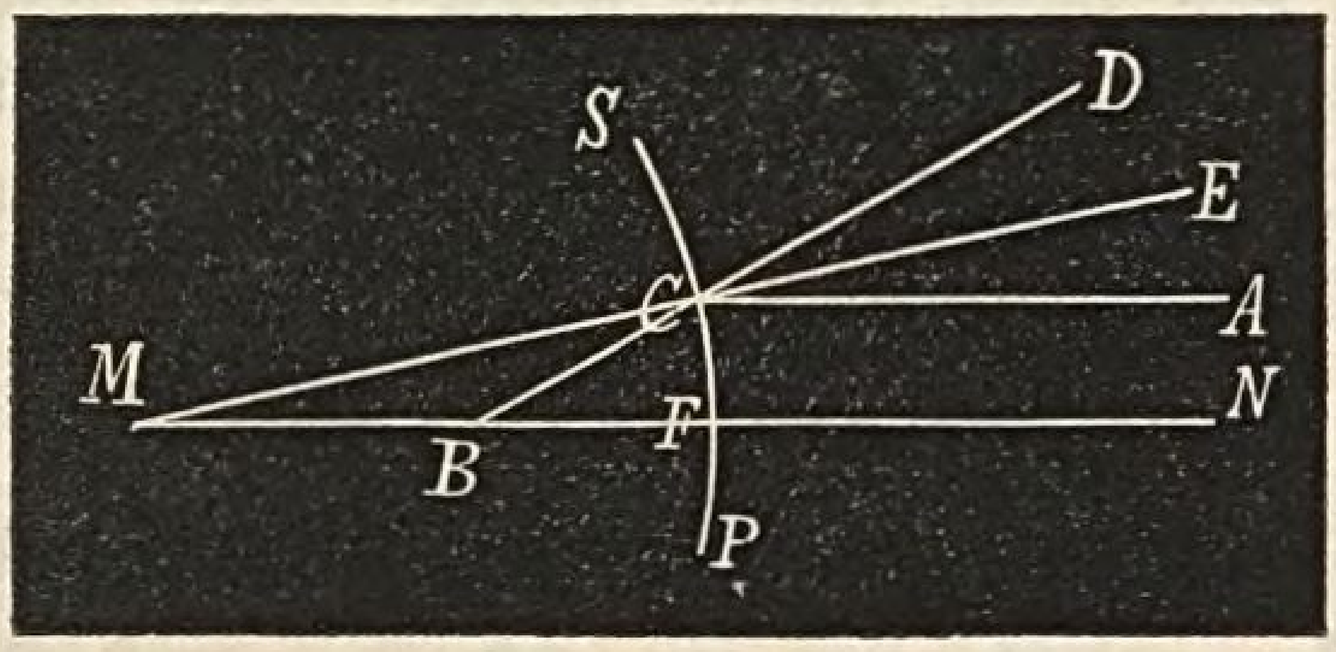
Parabolische und elliptische Hohlspiegel.

b) Konvexspiegel.

160. Die Anwendung der katoptrischen Hauptgesetze auf die Konvexspiegel giebt folgende Sätze:

1) Parallel mit der Achse auffallende Strahlen werden divergent zurückgeworfen und schneiden rückwärts verlängert die Achse hinter dem Spiegel. Je näher der Achse ein solcher Strahl liegt, desto genauer ist der Einschnittspunkt, die Mitte des Kugelradius, welcher Punkt hier Zerstreuungspunkt oder negativer Brennpunkt, sowie seine Entfernung vom Spiegel die negative Brennweite heißt, und man sagt: bei konvexen Spiegeln werden parallel mit der Achse auffallende Strahlen so zurückgeworfen, daß es scheint, als kämen sie aus dem Zerstreuungspunkte.

Figur 78.

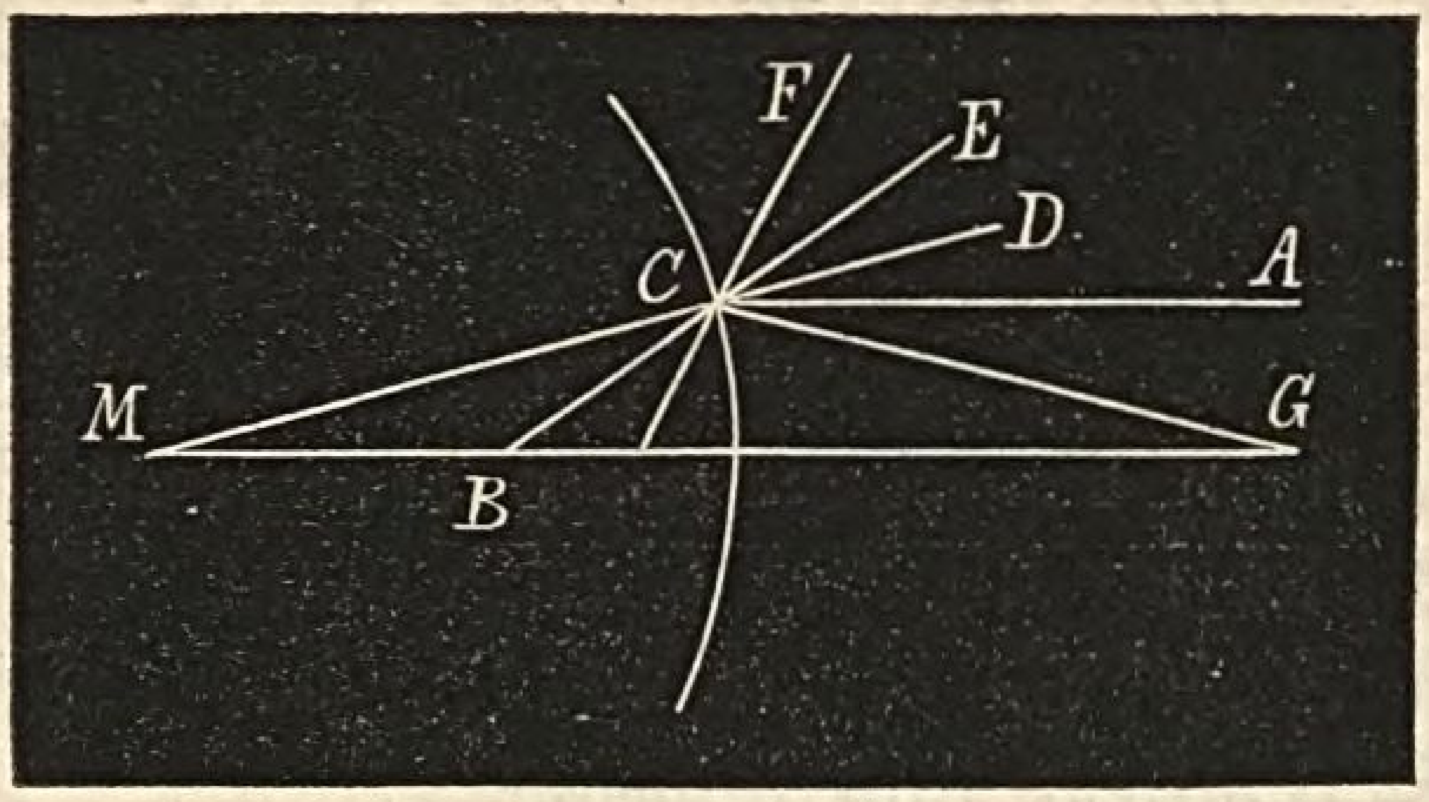


Ist in Figur 78 SP der senkrechte Durchschnitt des auf der Seite nach A hin polierten Spiegels, MN die Achse, AC der zur Achse parallele Strahl, MC das Einfallslot und $\angle$ DCE = $\angle$ ECA, so ist DC der zurückgeworfene Strahl, welcher rückwärts verlängert, die Achse in B schneidet. Daß BF = MB = $^1/_2$ MF ist, wird hier wie bei Konkavspiegeln bewiesen.

Divergente Strahlen werden divergenter und konvergente weniger konvergent; die Konvexspiegel begünstigen also die Divergenz, wie die Konkavspiegel die Konvergenz; jene zerstreuen, diese sammeln die Lichtstrahlen; daher auch jene Zerstreuungsspiegel, diese aber Sammelspiegel heißen.

2) Hinsichtlich des Bildes eines leuchtenden Punktes und eines ganzen Objektes ist folgendes zu merken. Indem sich der auf der Achse befindende leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung dem Spiegel auf der Vorderseite nähert, nähert sich auch sein Bild aus dem Zerstreuungspunkte demselben auf der Rückseite, und sie treffen auf dem Spiegel selbst zusammen; denn liegt in Figur 79 G auf der Achse in unendlicher Entfernung, so ist sein nach C gehender Strahl als der Achse parallel zu betrachten, wie AC, mithin wird er so zurückgeworfen,

Figur 79.



daß er aus dem negativen Brennpunkte B, wie C E, zu kommen scheint; liegt nun G in endlicher Entfernung, so wird ja, wenn M D das Einfallslot ist, G C D desto > A C D, mithin auch F C D desto > E C D, je näher G am Spiegel ist, d. h. der zurückgeworfene Strahl schneidet in die Achse auf der Rückseite desto näher am Spiegel ein, je näher der leuchtende Punkt der Vorderfläche desselben ist. Das Bild eines außerhalb der Achse liegenden leuchtenden Punktes kann mittelst zweier Strahlen, wie bei den Konkavspiegeln durch Konstruktion bestimmt werden.

Auf gleiche Weise wird auch das Bild ganzer Objekte, wie bei Konkavspiegeln bestimmt. Es ist immer geometrisch und hat mit dem Objekte dieselbe Stellung, wie bei den Planspiegeln, ist aber kleiner, und zwar desto kleiner, je näher es dem Zerstreuungspunkte ist, von dem es sich, größer werdend, bis zum Spiegel bewegt, indem das Objekt auf der Vorderseite aus unendlicher Entfernung bis an den Spiegel rückt. Die Bilder treten hier also nie aus der negativen Brennweite heraus.

Auch hier gilt die Formel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, nur muß p negativ gesetzt werden. —

Alle Erscheinungen an den sphärischen Spiegeln lassen sich am besten in einem verfinsterten Zimmer mit einer Lichtflamme an Metallspiegeln zeigen. — Die in den Gärten aufgestellten, inwendig geschwärzten Glaskugeln.

In den konvexen cylindrischen und konischen Spiegeln erscheinen alle Gegenstände verzerrt, daher müssen auch die Zeichnungen, welche in solchen Spiegeln ein kenntliches regelmäßiges Bild geben sollen, verzerrt, wenn auch nach bestimmten Regeln, entworfen sein; sie heißen katoptrische Anamorphosen oder Zerrbilder.

161. Von undurchsichtigen, nicht polierten oder rauhen Körpern wird das Licht auch zurückgeworfen, aber unregelmäßig, d. h. so, daß die aus einem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen nach verschiedenen Richtungen zurückgeworfen werden. Das Licht wird, wie man sagt, zerstreut (Diffusion der Lichtstrahlen). Mit dieser Zerstreuung des Lichtes ist eine Schwächung desselben verknüpft, welche noch dadurch vermehrt wird, daß die Körper nach ihrer Farbe, wovon später die Rede sein wird, nie das ganze empfangene Licht, sondern nur einen bald größeren, bald kleineren Teil desselben zurückwerfen. Alle dunkeln Körper sehen wir nur durch zurückgeworfenes Licht.

Die nicht polierten Körper haben (wenn auch nur kleine) Erhabenheiten und Vertiefungen, von deren Flächen das Licht nach allen Seiten hin zurückgeworfen werden kann; weshalb wir die Körper durch dieses zerstreute Licht aus verschiedenen Richtungen sehen können. Die dadurch in der Atmosphäre bewirkten Erscheinungen § 174.

III. Die Dioptrik oder die Lehre von der Brechung des Lichtes.

162. Das Licht erleidet eine Brechung, wenn es aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes durchsichtiges, dichteres oder dünneres Mittel unter einem schiefen Winkel übergeht; ungebrochen geht es aber durch, sobald es rechtwinklig das andere Mittel trifft. Die dioptrischen Hauptgesetze sind folgende:

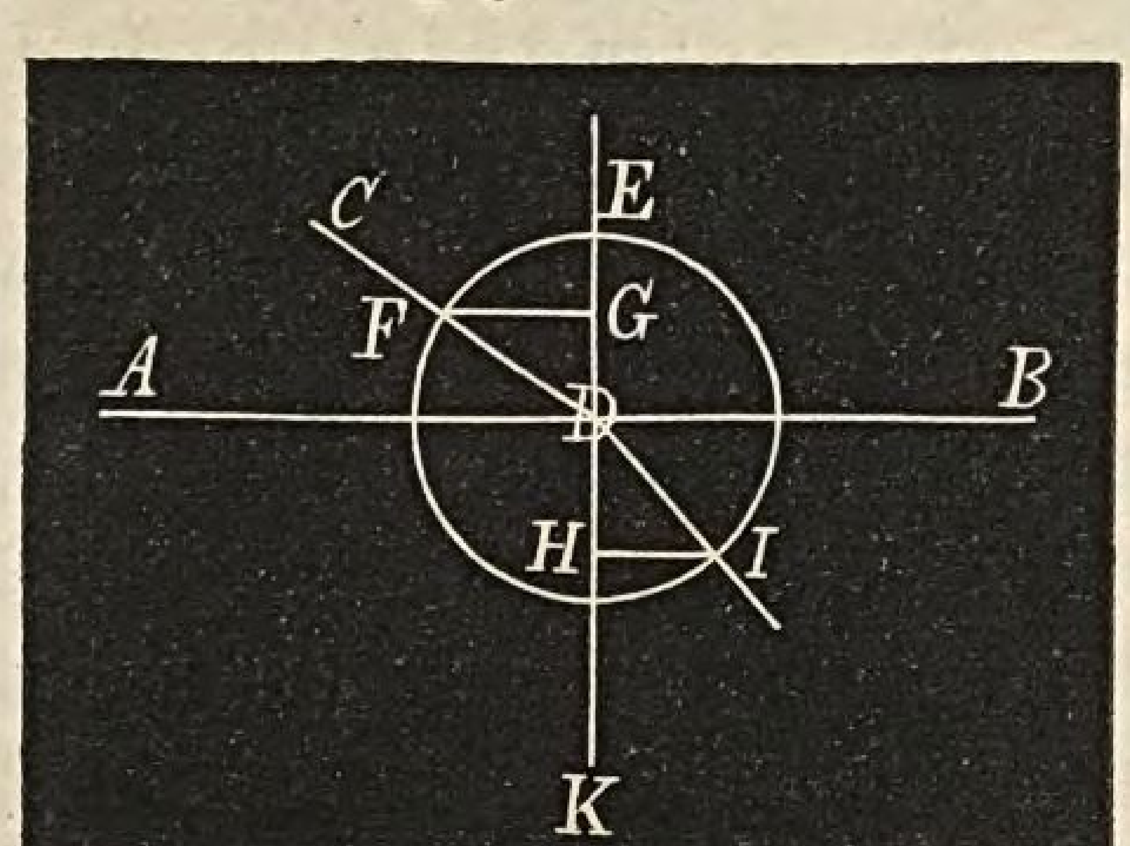
1) Geht das Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres über (z. B. aus Luft in Glas oder in Wasser), so wird es zum Einfallslote hin, und wenn es aus einem dichteren in ein dünneres übergeht (z. B. aus Glas oder aus Wasser in Luft), vom Einfallslote ab, gebrochen.

2) Der einfallende Strahl, der gebrochene Strahl und das Einfallslot liegen in einer und derselben Ebene. Diese steht auf der Trennungsfläche beider Mittel senkrecht.

3) Bei dieser Brechung haben nicht die Einfalls- und Brechungswinkel ein bestimmtes Verhältnis zu einander, sondern die Sinusse derselben, oder die Perpendikel von den Endpunkten gleicher Stücke des einfallenden und des gebrochenen Strahles auf die zugehörigen Einfallslote.

Was ist der Einfallswinkel, was der Brechungswinkel, was das Brechungsverhältnis? Welches von zwei Mitteln heißt das stärker oder schwächer brechende? Das Brechungsverhältnis aus Luft in Glas ist 3 : 2 oder 1 : $^2/_3$, aus Luft in Wasser 4 : 3 oder 1 : $^3/_4$; also aus Glas in Luft 2 : 3 oder 1 : $^3/_2$, so wie aus Wasser in Luft 3 : 4 oder 1 : $^4/_3$. Bei sehr kleinen Winkeln kann man ohne großen Fehler das Brechungsverhältnis auf die Winkel selbst beziehen.

Figur 80.



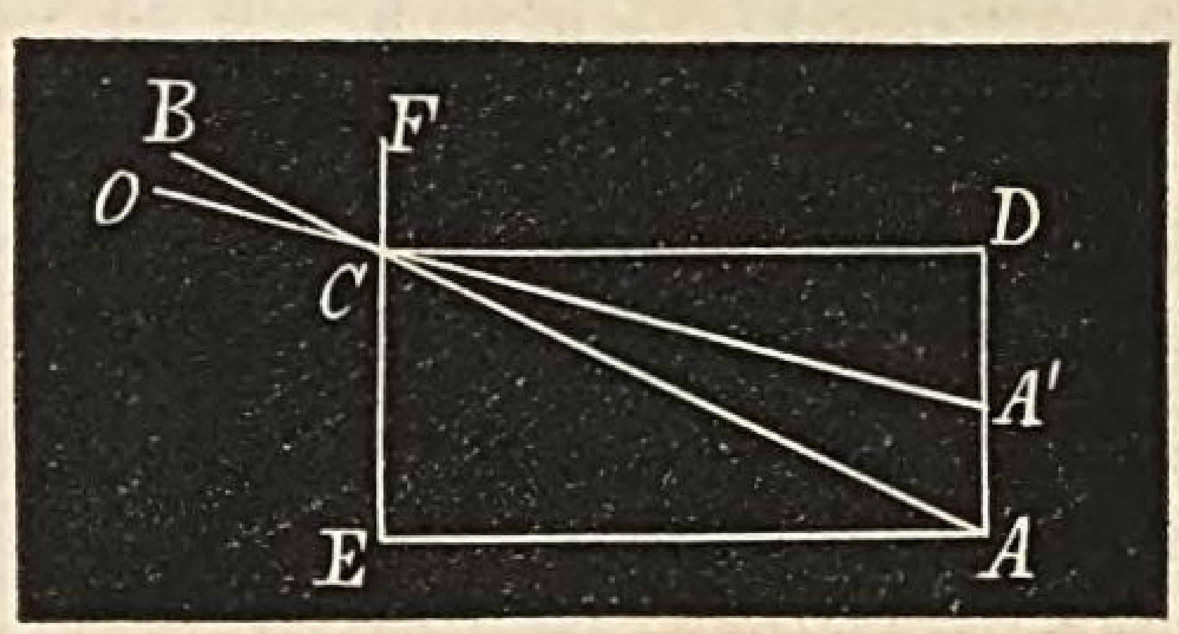
Weiß man das Brechungsverhältnis, so läßt sich durch eine einfache Konstruktion die Richtung des gebrochenen Strahles finden. Ist z. B. in Figur 80 über AB Luft, unter AB Glas, CD der einfallende Strahl, das Brechungsverhältnis aus Luft in Glas 1 : $^2/_3$, so errichte man in D das Einfallslot EK, beschreibe mit einer beliebigen Linie den Kreis um D, fälle von F den Perpendikel FG, nehme $^2/_3$ FG, bestimme den Peripheriepunkt I, dessen senkrechte Entfernung HI vom Einfallslote $^2/_3$ FG beträgt, und verbindet I mit D, so giebt DI die Richtung des gebrochenen Strahles an. Wäre DI der einfallende Strahl, so fälle man zuerst HI, nehme darauf $^3/_2$ HI und bestimme den Peripheriepunkt F, welcher vom Einfallslote $^3/_2$ HI entfernt ist, u. s. w. Das oben erwähnte Brechungsgesetz ist zuerst von Snellius 1621 aufgestellt.

1) Einige Brechungserscheinungen in der Natur, besonders in Wasser und Luft.

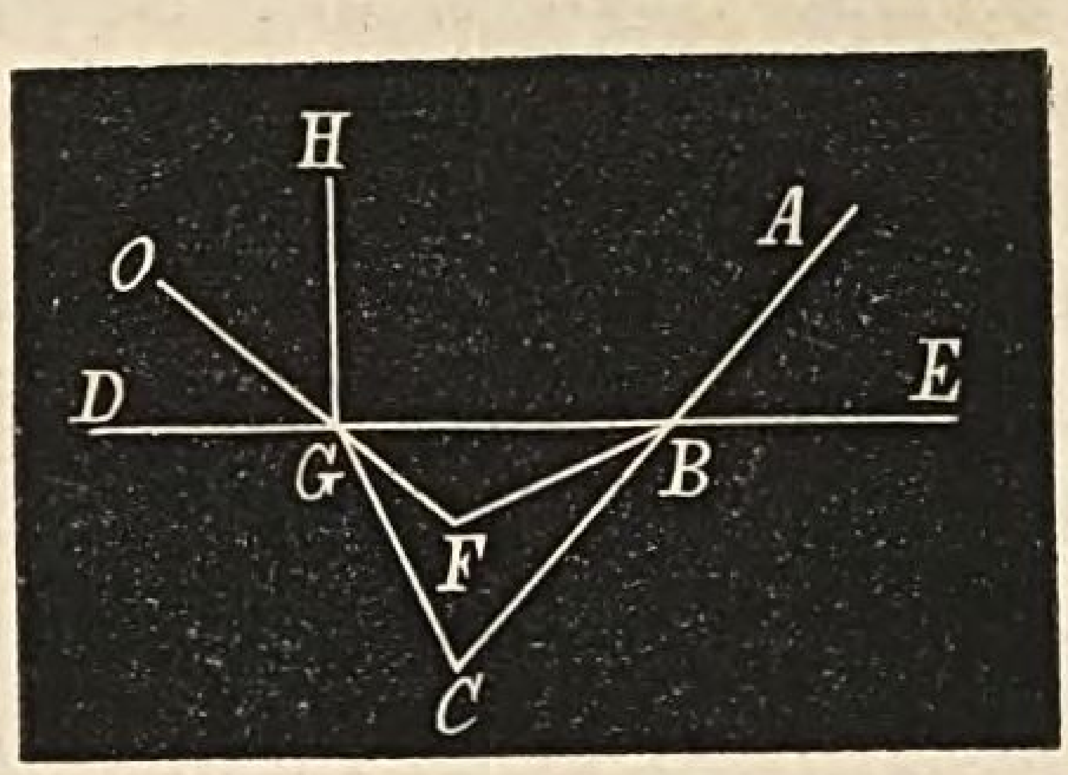
163. 1) Auf der Brechung des Lichtes beruhen unter anderen folgende Erscheinungen: Legt man ein Geldstück in eine Tasse, am zweckmäßigsten an den Rand des Bodens, tritt hierauf auf der dem Geldstücke entgegengesetzten Seite der Tasse so weit zurück, daß die Münze durch die Wand derselben bedeckt, verschwindet und gießt nun Wasser hinein, so erblickt man bei einer gewissen Höhe desselben das Geldstück wieder; es scheint, als wenn das Geldstück mit dem ganzen Boden zugleich gehoben worden wäre — ein schwimmender Fisch scheint der Oberfläche des Wassers näher zu sein, als er wirklich ist — ruhige Gewässer halten wir für weniger tief, als sie sind, indem die auf dem Boden liegenden Gegenstände der Oberfläche des Wassers scheinbar genähert werden — bei bewegter Wasseroberfläche scheinen sich auch die Gegenstände auf dem Boden zu bewegen; ein gerader Stab in geneigter Richtung zum Teil ins Wasser gebracht, erscheint gebrochen — eine mit Tinte oder Bleistift auf Papier gezogene Linie oder auch eine ganze Zeichnung zum Teil mit einer Glasscheibe bedeckt, erscheint am Rande der Scheibe wie aus ihrer Stelle gerückt.

Ist in Figur 81 DCEA ein rechtwinkeliges Gefäß, in A ein Silberstück, so kann es von dem Auge in O nicht gesehen werden, da der äußerste Lichtstrahl AB über dasselbe hinweggeht; wird bis CD Wasser eingegossen, so erleidet der Lichtstrahl AC bei C eine Brechung vom Einfallslote CF abwärts und kann nun, da er hierdurch erniedrigt wird, das Auge in O treffen, welches das Silberstück in der Richtung des erhaltenen Lichteindruckes nach A′ versetzt. — Ist in Figur 82 DE die Wasseroberfläche, ABC ein gerader Stab, so wird der Lichtstrahl CG in G vom Einfallslote GH ab, nach O gebrochen, und ein Auge in O versetzt den Punkt C längs OG nach F gerade über C u. s. w.. und so erscheint CB dem Auge wie FB, und der Teil des Stabes außer dem Wasser mit dem im Wasser unter dem Winkel FBA.

Figur 81.



Figur 82.



2) Das Licht der Himmelskörper kann nicht in einer geraden Linie in unser Auge gelangen, weil die Luft von oben nach unten an Dichtigkeit zunimmt. Denken wir uns die Atmosphäre in sehr viele, äußerst dünne Schichten geteilt, so wird in ihnen ein Lichtstrahl immer zum Einfallslote hin gebrochen, und wir erhalten als Weg solchen Lichtes eine aus sehr vielen Teilen bestehende gebrochene Linie. Da aber in keiner Schichte, wie niedrig sie auch gedacht wird, die Luft wirklich von derselben, sondern immer noch von

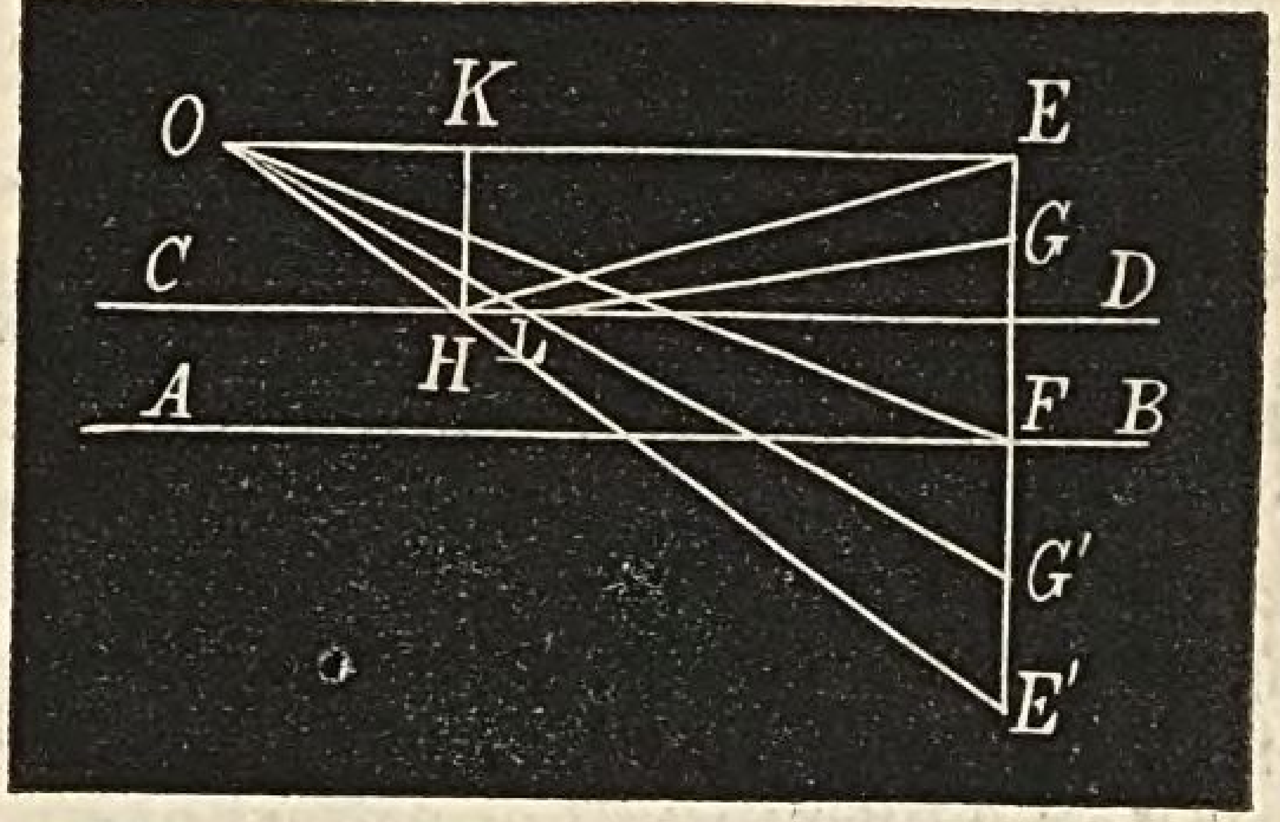
oben nach unten von zunehmender Dichtigkeit ist, so geschieht die Brechung in einem fort, und die Bahn des Lichtes wird eine krumme Linie; aber da wir einen leuchtenden Punkt immer in die Richtung des Lichteindruckes versetzen, so sehen wir die Himmelskörper in der Tangente der Lichtkurve, deren konvexe Seite aufwärts gekehrt ist.

Irdische und astronomische Strahlenbrechung. — Die astronomische Strahlenbrechung verlängert den Tag, indem wir durch sie die Sonne schon sehen, ehe sie aufgeht, und noch sehen, nachdem sie untergegangen ist; zufolge astronomischer Berechnung geht in Nova Zembla die Sonne schon im Oktober unter und tritt erst im Februar wieder über den Horizont; aber durch die Strahlenbrechung wird diese lange Nacht doch um vier Wochen verkürzt. Die Strahlenbrechung macht, daß wir die Sterne, insbesondere die niedrig stehenden, höher über dem Horizonte glauben, als sie wirklich sind; die Erhebung der Gestirne durch die Refraktion beträgt am Horizonte über einen halben Grad, bei einer Höhe von 45° kaum eine Sekunde, und am Zenithe ist sie Null. — Die Sonne scheint bei ihrem Untergange an schwülen Sommertagen, wo die untere Luft schnell abkühlt, die obere aber ihre Temperatur wenig ändert, auf dem oberen und unteren Rande abgeplattet zu sein, so daß der horizontale Durchmesser länger als der vertikale erscheint, und zuletzt ist der untere Rand mehr als der obere abgeplattet — eine Erscheinung, die ihren Grund darin hat, daß die Brechung mit der Höhe abnimmt, die unteren Lichtpunkte also mehr als die höher liegenden gehoben werden. Ähnlich wirkt die irdische Strahlenbrechung, welche die Berge erhöht, die oft an Meeresufern jenseitige Gegenstände, welche gewöhnlich wegen ihrer großen Entfernung und der Krümmung der Meeresoberfläche nicht gesehen werden, sichtbar macht: die oft bei weniger weit entfernten Gegenständen die Höhe verkleinert, z. B. ein Haus bei unveränderter Länge niedriger als sonst erscheinen läßt. Noch bemerken wir, daß die Refraktion der Atmosphäre nicht immer dieselbe ist, da ihre Dichtigkeit sich nicht immer gleich bleibt. Die Dichtigkeit in irgend einer Schichte wird abnehmen, sowohl wenn der Druck der noch über ihr ruhenden Luft abnimmt, als auch, wenn ihre eigene Temperatur zunimmt (§ 182), so wie, wenn ihre Feuchtigkeit abnimmt; daher die Größe der Refraktion vom Barometer-, Thermometer- und Hygrometer abhängig ist. Diese Abhängigkeit genau zu kennen, ist bei Höhen-Messungen und für die Astronomie von großer Wichtigkeit.

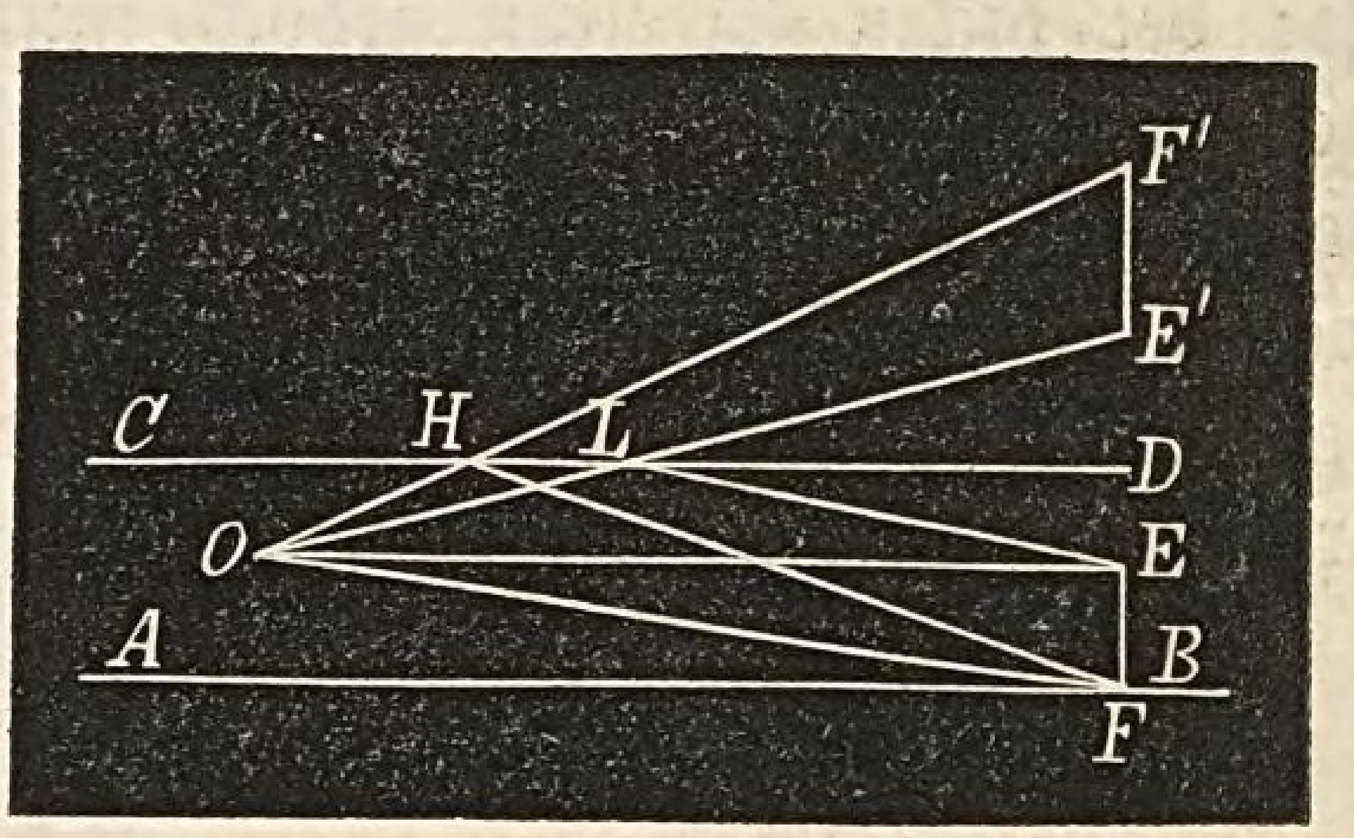
3) Eine der merkwürdigsten Erscheinungen ist die sogenannte Luftspiegelung, worunter man, bald aufrecht, bald verkehrt, in der Luft schwebende Bilder entfernter Gegenstände versteht. Solche Luftbilder von Häusern, Schiffen, ganzen Dörfern, Flotten 2c. sind teils über, teils unter denselben beobachtet worden. Soll die Abspiegelung unterwärts stattfinden, so muß 1) die Oberfläche der Erde durch die Sonne so stark erhitzt worden sein, daß durch sie die unterste Luftschichte der Atmosphäre bedeutend wärmer, und dadurch, dem gewöhnlichen Zustande entgegen, auch dünner ist, als die Luft über ihr, was namentlich in Sandwüsten oft der Fall ist; 2) muß sich das Auge des Beobachters außerhalb, das Objekt selbst aber wenigstens zum Teile außerhalb dieser untersten Luftschicht befinden. Die Abspiegelung oberwärts dagegen setzt voraus: 1) daß die unterste Luftschicht bedeutend abgekühlt ist, während die oberen noch sehr warm sind, mithin die erstere auch bedeutend dichter als die oberen, was über Wasserflächen oft vorkommt; 2) daß das Auge und das Objekt sich innerhalb der untersten abgekühlten Luftschicht befinden. Das Objekt wird in beiden Fällen auf gewöhnliche Weise gesehen, die Bilder dagegen werden hervorgebracht durch Lichtstrahlen, welche auf

die Grenzfläche der dichteren und dünneren Luft unter sehr spitzen Winkeln auffallen und eine so bedeutende Brechung vom Einfallslote erleiden, daß sie, statt in das andere Mittel einzudringen, von diesem zurückgeworfen werden, so daß also an Stelle der Brechung eine Zurückwerfung erfolgt, welche Erscheinung die totale Reflexion heißt. Hierzu folgende Andeutungen: Ist in Figur 83 A B die Oberfläche der Erde, unter C D die Luft dünner als darüber, E F das Objekt, so sieht das Auge O dasselbe mittelst der innerhalb E O F liegenden Strahlen auf gewöhnliche Art; von den aus E kommenden fällt E H so sehr schief auf C D, daß durch die sehr bedeutende Ablenkung vom Einfallslote H K der Strahl E H nicht mehr gebrochen werden kann, also von C D zurückgeworfen wird. Vermöge O H sieht das Auge in E' ein Bild von E; auf ähnliche Art machen G L und O L, daß es in G' ein Bild von G sieht u. s. w. Ist dagegen in Figur 84 unter C D die Luft dichter als darüber, das Objekt E F sowohl, als auch das Auge O innerhalb der untersten Luftschichte, so sieht dieses das Objekt wieder durch die innerhalb E O F liegenden Strahlen, sein Bild aber mittelst der vom Objekte auf C D so schief auffallenden Strahlen, daß sie nur zurückgeworfen werden können; F H und H O bewirken, daß das Auge ein Bild von F in F', E L und L O aber, daß es ein Bild von E in E' u. s. w. sieht. Ist A B eine Wasseroberfläche, so hat E F ein Bild im Wasser mittelst des Wasserspiegels unter F (§ 57, 2), und dieses kann ein aufrecht stehendes Luftbild über F' E' haben, so daß E F dreimal gesehen wird: zuerst aufrecht, darunter verkehrt, darüber wieder aufrecht. Durch Bewegung des Wassers und der Luft erhalten die Bilder selbst Bewegung und dadurch ein zauberisches Aussehen, wie die Fata morgana an der Meerenge von Messina.

Figur 83.



Figur 84.



Kimmung — bei der Expedition der französischen Armee 1798 nach Ägypten; in den Wüsten Arabiens. Ein leichtes Experiment über die totale Reflexion ist folgendes: ein gewöhnliches Trinkglas wird etwa halb mit Wasser gefüllt und an der äußeren Wandung irgend wo nahe unter der Wasseroberfläche ein kleines Dreieck aus Papier mittelst Befeuchtung angeklebt, z. B. mit einer Spitze nach oben. Hält man nun das Glas vor den Augen so, daß man nach dem Dreiecke durch das Wasser nahe an seiner Oberfläche von der entgegengesetzten Seite des Glases sieht, so erscheint über dem Dreiecke sein verkehrtes Bild und man erblickt zwei Dreiecke, welche ihre Spitzen einander zukehren. Statt des Dreiecks kann man auch bequem einen Bleistift, eine Feder[1], ein Messer, einen

Finger ꝛc. an der richtigen Stelle halten. — Bei unsern Spiegeln werden einige von der Amalgamfläche reflektierte Strahlen von der Rückseite des Glases nochmals zurückgeworfen und wieder vom Amalgam reflektiert; wodurch mehrere Spiegelbilder entstehen können, zumal wenn der Gegenstand schmal und die Strahlen recht schief auf den Spiegel fallen.

2) Brechungserscheinungen an Gläsern.

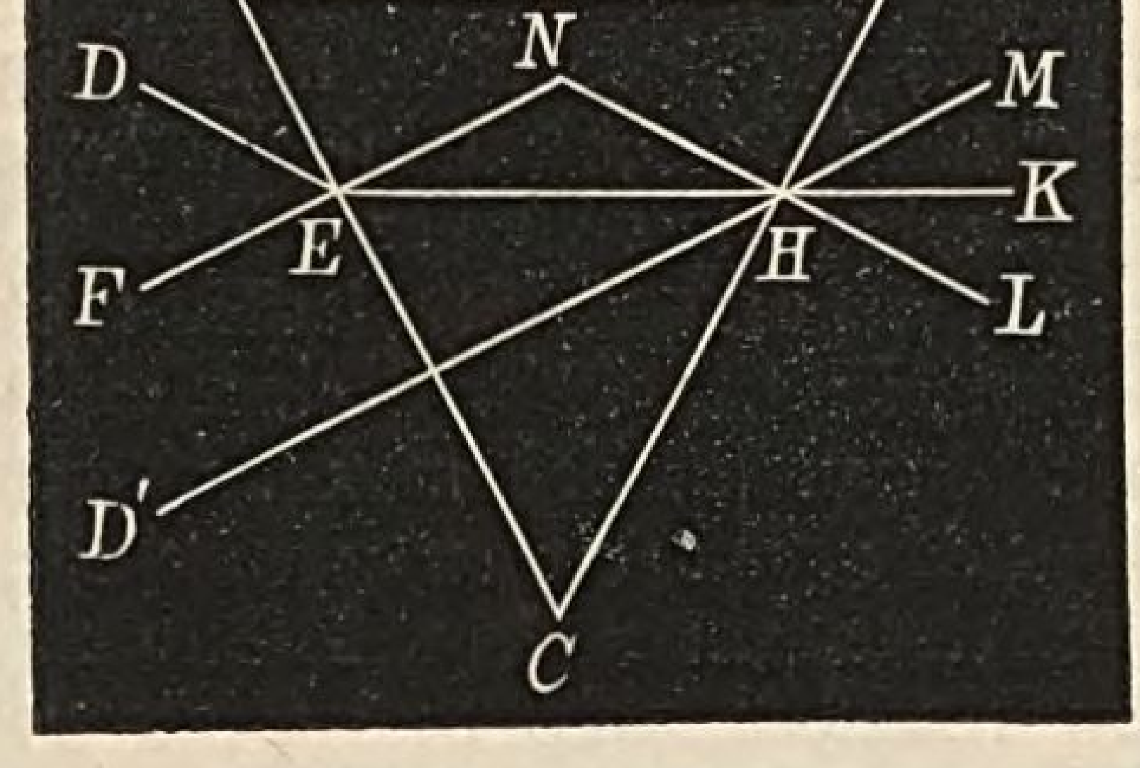
164. Die Brechung des Lichtes durch geschliffene Gläser ist vorzüglich merkwürdig. Diese Gläser sind nach der Beschaffenheit ihrer Oberflächen entweder Plangläser oder sphärische Gläser, auch Linsen genannt. Diese letzteren sind Konvexlinsen (Sammelgläser) oder Konkavlinsen (Zerstreuungsgläser); jene wieder konvexkonvex (bikonvex, doppelterhaben), oder plankonvex oder konkavkonvex (Menisken), so wie diese konkavkonkav (bikonkav, doppelthohl), oder plankonkav oder konvexkonkav.

a. Von den Plangläsern.

165. 1) Bei den gewöhnlichen Plangläsern sind die Flächen eben und je zwei gegenüberliegende einander parallel. So viel der Lichtstrahl beim Eintritt aus der Luft in das Glas zum Einfallslote hin, eben so viel wird er beim Austritte aus dem Glase in die Luft von demselben ab gebrochen, und so müssen die beiden Teile des Strahles vor und hinter dem Glase parallel sein; deshalb treten auch auf der einen Seite parallel auffallende Strahlen auf der anderen parallel heraus, so wie konvergente konvergent und divergente divergent.

2) Durch unsere Fensterscheiben sehen wir die Gegenstände meist da, wo sie wirklich sind, weil die durch die Brechung bewirkte Ablenkung der Lichtstrahlen hier wegen der geringen Dicke des Glases unbedeutend ist; bei dicken Scheiben jedoch kann die Verrückung der Gegenstände, namentlich wenn man sehr schräge durchsieht, bemerklich werden. Eine bedeutende Verrückung der Gegenstände für das Auge findet aber statt, wenn man Gläser mit zwar ebenen, aber nicht parallelen Flächen hat; besonders belehrend ist hier das dreiseitige Glasprisma. Dieses dreiseitige Prisma ist gewöhnlich gleichseitig, d. h. so, daß wenn in Figur 85 ABC einen senkrechten Querschnitt bedeutet, dieses Dreieck gleichseitig ist. Jeder durch das Prisma gehende Lichtstrahl erleidet, wie in jedem Glase, eine doppelte Brechung und zwar beim Eintritte zum Einfallslote hin, beim Austritte aber von demselben ab. Der Winkel, welchen die brechenden Flächen, d. i. diejenigen, durch welche der Lichtstrahl geht, mit einander bilden, ACB heißt der brechende Winkel. Hält man nun das Prisma hori-

Figur 85.



zontal vor den Augen mit dem brechenden Winkel nach unten, so bemerkt man an den gegenüberliegenden Gegenständen eine doppelte Erscheinung, 1) was am auffallendsten ist, aber erst später erklärt werden kann, daß die Ränder aller Gegenstände farbig sind, 2) daß wir alle Gegenstände tiefer sehen, als sie sich wirklich befinden. Man muß nämlich, um Gegenstände in gleicher Höhe mit unseren Augen durch das Prisma zu sehen, in demselben in einer unter den Gegenständen gehenden Richtung sehen; sieht man also einen Gegenstand durch das Prisma, zieht es hierauf bei unbeweglich gehaltenen Augen hinweg, so sieht man nicht nach dem Gegenstande, sondern unter ihm weg; oder sieht man einen Gegenstand an und hält hierauf vor die unbeweglich gehaltenen Augen das Prisma, so sieht man nicht mehr diesen Gegenstand, sondern höher gelegene, und muß daher, um ihn zu erblicken, die Augen senken. Die Erklärung dieser Erscheinung beruht auf der Betrachtung des Weges eines durch das Prisma gehenden Strahles. Ist in Figur 85 D E ein in E auffallender Strahl von einem dem Auge gegenüberliegenden Punkte D, so wird er in E zum Einfallslote F N hin gebrochen, z. B. längs E H, in H erleidet er die zweite Brechung aber vom Einfallslote N L ab, geht also nicht längs H K, sondern z. B. längs H M; der Strahl ist also sowohl bei E, als auch bei H aufwärts gebrochen worden. Ein Auge in M versetzt den leuchtenden Punkt D in die Richtung des Lichteindruckes H M nach D′, tiefer also, als er sich wirklich befindet. Da die Ablenkung der Strahlen in der Regel zweimal nach derselben Richtung erfolgt, so ist dieselbe meistens bedeutend und je nach der Richtung des einfallenden Strahles sehr veränderlich. Sie ist am kleinsten, wenn der innere Strahl E H mit den beiden Prismenflächen gleiche Winkel bildet. Diejenigen Strahlen, welche innerhalb des Prismas die Flächen unter sehr spitzen Winkeln treffen, erleiden eine totale Reflexion, wodurch diese Flächen leicht einen vollkommenen Metallglanz annehmen und vorzügliche Spiegelflächen bilden.

Dioptrische Anamorphosen. — Polyeder oder Rautengläser.

b. Von den sphärischen Gläsern oder Linsen.

166. Unter der Achse der Linse versteht man diejenige gerade Linie, welche wir uns durch die Mittelpunkte der beiden Kugeln, von denen die Glasflächen Segmente sind (geometrische Mittelpunkte), gezogen denken. Sie geht zugleich, wenn die Linse gut gearbeitet oder richtig centriert ist, durch die Mitte des Glases (optischer Mittelpunkt) und steht auf beiden Flächen senkrecht. Von den zwei Flächen der Linse nennen wir diejenige die Vorderfläche oder Vorderseite, auf welche die Lichtstrahlen fallen, oder vor welcher sich ein leuchtender Punkt oder ein leuchtendes Objekt befindet; die andere, welcher gewöhnlich das Auge zugekehrt ist, heißt dagegen Hinterfläche, Hinterseite, Rückseite.

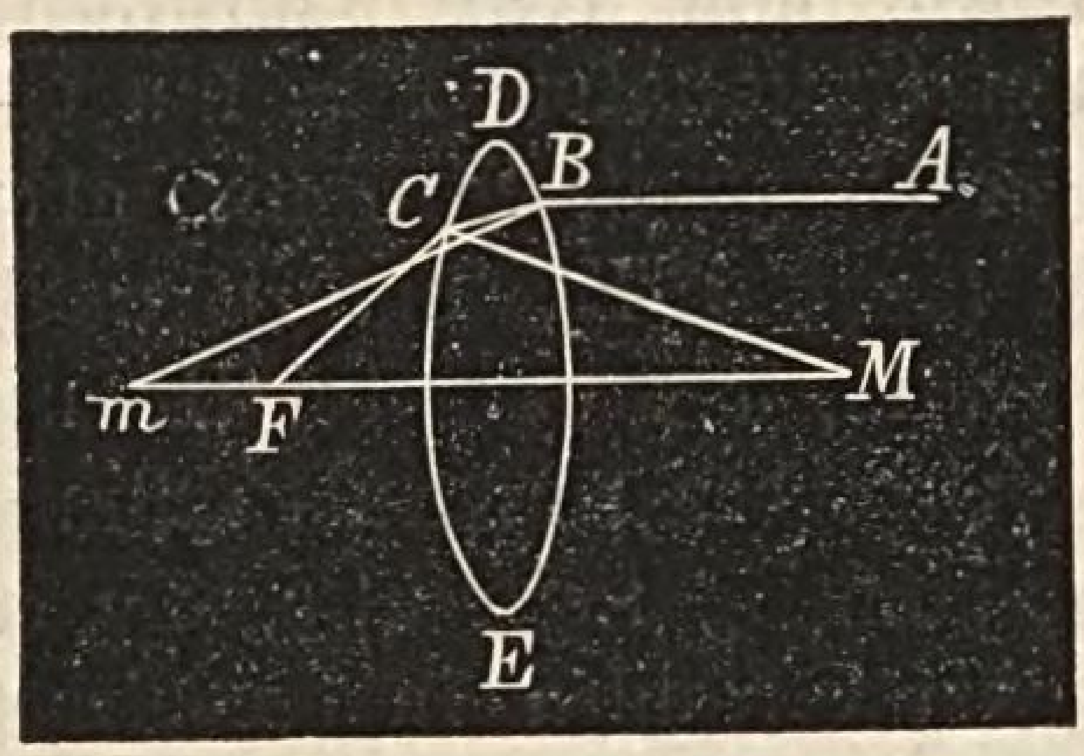
Konvexlinsen.

167. Alle drei Arten von Konvexlinsen geben im allgemeinen dieselben Erscheinungen; hier werden nur bikonvexe Gläser betrachtet.

1) Ein Strahl parallel mit der Achse auffallend, wird hier so gebrochen, daß er die Achse auf der Rückseite der Linse in irgend einem Punkte schneidet, und giebt es mehrere solcher zur Achse paralleler Strahlen, so schneiden sie diese fast in einem und demselben Punkte, welcher der **Brennpunkt** (Fokus), so wie seine Entfernung vom Glase die **Brennweite** (Fokalentfernung) heißt. Jede Linse hat zwei Brennpunkte, den vorderen und den hinteren, also auch zwei Brennweiten.

Daß der parallel mit der Axe auffallende Strahl auf der anderen Seite des Glases zur Achse konvergent durch die Brechung heraustreten muß, zeigt die Figur 86, worin DE einen senkrechten Durchschnitt der Linse bezeichnet, M und m die geometrischen Mittelpunkte, AB den mit der Achse parallelen Strahl, mB das Einfallslot in B, zu welchem hin der Strahl wie BC gebrochen, also schon zur Achse konvergent wird, CM das Einfallslot in C, von welchem ab der Strahl gebrochen, also zur Achse noch konvergenter wird, und sie in F schneidet. Wie § 159 geben stark gewölbte Linsen: Brennlinien oder Brennflächen, welche man Diakaustika nennt.

Figur 86.



Ein Strahl konvergent mit der Achse auffallend, wird so gebrochen, daß er die Achse auf der Rückseite des Glases in einem derselben näheren Punkte schneidet, als er sie ungebrochen schneiden würde, was sich durch eine Zeichnung leicht zeigen läßt. Die parallelen Strahlen werden also konvergent, wie die konvergenten mehr konvergent; die mit der Achse divergent auffallenden Strahlen endlich können nach der Größe der Divergenz konvergent, parallel oder weniger divergent werden. Die aus einem leuchtenden Punkte kommenden Strahlen sind immer divergent, und ist jener in der Achse des Glases, so sind auch alle, den Achsenstrahl ausgenommen, zu ihr selbst divergent. Wir betrachten hier, wie in der Katoptrik, zunächst leuchtende Punkte in und außerhalb der Achse, dann leuchtende Objekte; und wir werden sehen, daß es auch hier physische Bilder, Luftbilder oder objektive Bilder auf der Rückseite des Glases giebt, wenn die Strahlen durch die Brechung konvergent, dagegen geometrische oder subjektive Bilder auf der Vorderseite des Glases, wenn sie nur weniger divergent, und endlich gar keine Bilder, wenn sie parallel geworden sind.

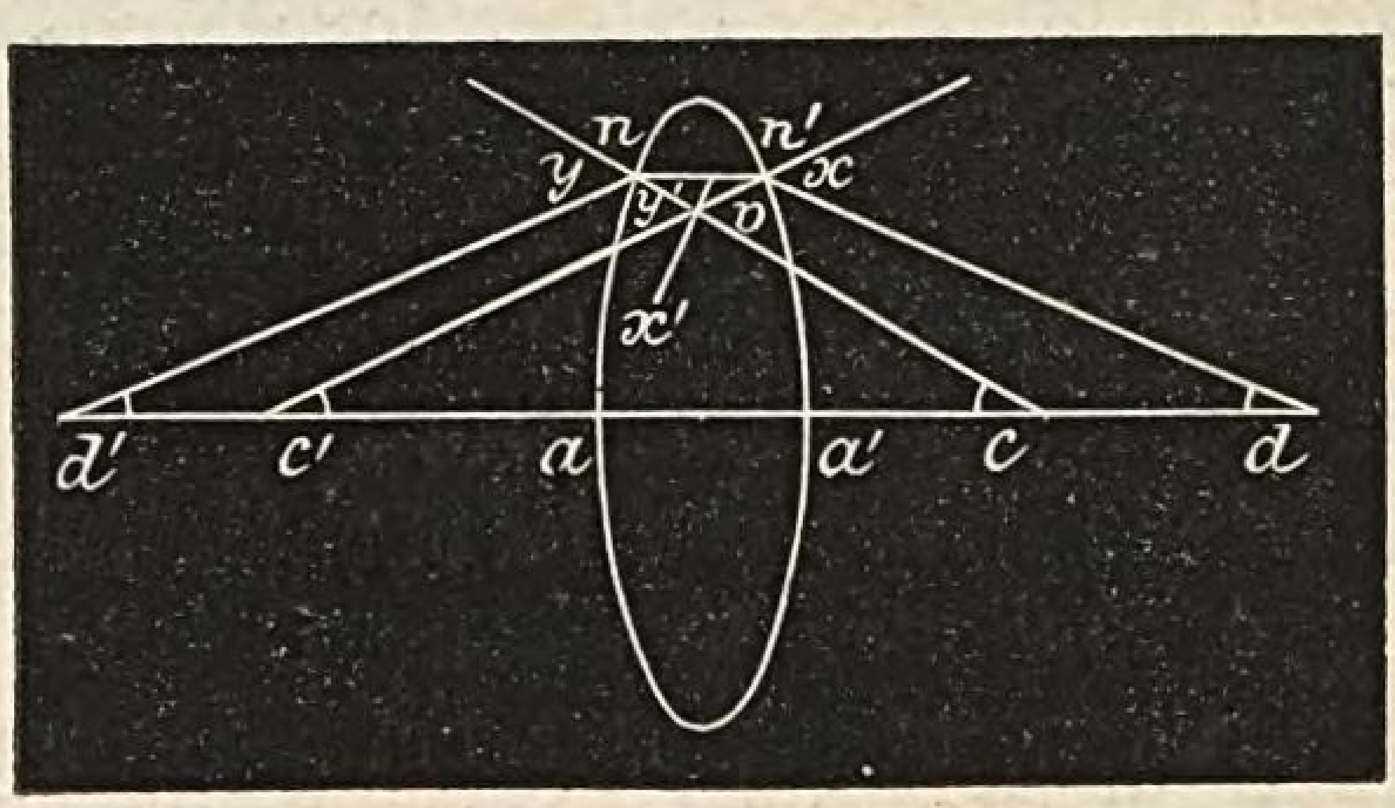
Ein längs der Achse auffallender Strahl geht ungebrochen durch, weil er senkrecht auffällt; ein aus einem außerhalb der Achse gelegenen Punkte kommender und durch den optischen Mittelpunkt gehender Strahl wird, da die Stellen um denselben auf den beiden Glasflächen als parallel betrachtet werden können, und die Dicke des Glases nicht bedeutend ist, so äußerst wenig durch die Brechung von seinem Wege abgelenkt, daß man ohne bedeutenden Fehler annehmen kann, jeder den

optischen Mittelpunkt treffende Strahl gehe ungebrochen durch das Glas. Um nun die Stelle des Bildes eines leuchtenden Punktes zu finden, d. h. die Stelle der Vereinigung aller Lichtstrahlen nach der Brechung, hat man auch hier nur nötig, den Gang zweier Lichtstrahlen zu verfolgen.

2) *Ist der leuchtende Punkt auf der Achse*, so stellt die Achse selbst den einen Strahl vor, und man hat nur den Punkt zu suchen, in welchem sie ein beliebiger zweiter Strahl nach seiner Brechung schneidet. Ist der leuchtende Punkt auf der Achse in unendlicher Entfernung, so macht jeder Strahl mit der Achse einen so äußerst kleinen Winkel, daß er als ihr parallel angenommen werden kann; er muß sie daher nach der Brechung im Brennpunkte der Rückseite treffen. Ist der leuchtende Punkt im Brennpunkte, so wird jeder Strahl, der nicht in die Achse fällt, so gebrochen, daß er auf der Rückseite parallel zur Achse heraustritt, sie also nirgends trifft. Ist der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, so fällt jeder nicht in der Achse liegende Strahl so auf die Linse, daß ihn zwar die Brechung weniger divergent, aber nicht parallel zur Achse macht; verlängert kann er die Achse nur auf der Vorderseite der Linse treffen, desto weiter davon, je näher am Brennpunkte der leuchtende Punkt ist. Aus diesen Hauptfällen ergiebt sich nun nachstehende Folgerung: Indem der leuchtende Punkt auf der Achse aus unendlicher Entfernung bis zum Brennpunkte rückt, rückt sein Bild auf der Rückseite auf der Achse vom Brennpunkte ins unendliche und verschwindet, indem jener den Brennpunkt erreicht; rückt nun der leuchtende Punkt weiter vom Brennpunkte bis zur Linse, so bewegt sich sein Bild auch auf der Vorderseite aus unendlicher Entfernung bis zur Linse.

Die dioptrische Hauptformel, welche alle diese Fälle in sich schließt, kann so entwickelt werden: Ist in Figur 87 dn' der auffallende Strahl, $c'n'$ das Einfallslot in n', zu welchem der Strahl wie $n'n$ gebrochen wird, in n das Einfallslot nc, von welchem ab der Strahl gebrochen wird längs nd'; bezeichnen x, x', y, y' die Einfalls- und Brechungswinkel d', c', d, c die markierten Winkel an der Achse, werden ac mit r; $a'c'$ mit ϱ; $a'd$ mit a und ad' und α bezeichnet, so steht, wenn man das Brechungsverhältnis $n:1$ aus Luft in Glas auf die Winkel, da diese sehr klein sind, bezieht:

Figur 87.



$$\left.\begin{array}{l} x : x' = n : 1 \\ y : y' = n : 1 \end{array}\right\} \text{ also } x : x' = y : y', \text{ mithin } x + y : x' + y' = x : x', \text{ oder}$$

$x + y : x' + y' = n : 1$, welche Formel durch Substitution, da $x = c' + d$ und $y = c + d'$, so wie $v = y' + x' = c' + c$ übergeht in:

$$(c + c' + d + d') : (c' + c) = n : 1$$
$$(c + c' + d + d') — (c' + c) : (n — 1) = (c' + c) : 1$$
$$(d + d') : (n — 1) = (c' + c) : 1$$
$$(n — 1)(c' + c) = d + d'$$
$$(n — 1)\, c' + (n — 1)\, c = d + d'.$$

Nimmt man die Bogen n′a′ und na wegen ihrer Kleinheit als auf der Achse senkrechte gerade Linien an, so ist c proportional mit $\frac{an}{ac} = \frac{an}{r}$, c′ mit $\frac{a'n'}{a'c'} = \frac{a'n'}{\varrho}$, d mit $\frac{a'n'}{a'd} = \frac{a'n'}{a}$ und d′ proportional mit $\frac{an}{ad'} = \frac{an}{\alpha}$ und hierdurch läßt sich diese letzte Formel so abändern:
$(n-1)\frac{a'n'}{\varrho} + (n-1)\frac{an}{r} = \frac{a'n'}{a} + \frac{an}{\alpha}$, und da auch $a'n' = an$ angenommen werden kann, so ist: $\frac{n-1}{\varrho} + \frac{n-1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, welches die dioptrische Hauptformel ist.

Hieraus läßt sich α entwickeln; soll die Formel für den Brennpunkt eingerichtet werden, so ist $a = \infty$ zu setzen, wodurch $\frac{1}{a} = 0$ wird und α zur Brennweite p. Ist für Luft und Glas $n : 1 = 3 : 2$, also $n = {}^3/_2$ und $n - 1 = {}^1/_2$, so geht die Hauptformel über in $\frac{1}{2\varrho} + \frac{1}{2r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, also $\alpha = \frac{2r\varrho a}{a(r+\varrho) - 2r\varrho}$ und wenn $r = \varrho$, ist $\alpha = \frac{ar}{a-r}$. Wird in der durch $n : 1 = 3 : 2$ abgeänderten Hauptformel noch $a = \infty$ gesetzt, so ist:
$\frac{1}{2\varrho} + \frac{1}{2r} = \frac{1}{p}$; also $p = \frac{2r\varrho}{r+\varrho}$, und hierin $r = \varrho$ gesetzt, wird $p = r$ und $\alpha = \frac{ar}{a-r}$, in diesem Falle auch $= \frac{ap}{a-p}$.

Wird das genauere Brechungsverhältnis 17 : 11 angenommen, so wird $p = \frac{11r}{12}$, also fast $= r$. Die Hauptformel gilt für alle Linsen, wenn nur r und ϱ bei konvexen Flächen positiv, bei konkaven negativ, bei ebenen unendlich groß gesetzt werden.

3) Ist der leuchtende Punkt außerhalb der Achse, so läßt sich die Stelle seines Bildes auch durch richtige Zeichnung des Ganges zweier Strahlen bestimmen. Der eine ist der durch den optischen Mittelpunkt gezogene, welcher ungebrochen durchgeht, der zweite der zur Achse parallel laufende, welcher so gebrochen wird, daß er die Achse auf der Rückseite der Linse im Brennpunkte schneidet. Der Durchschnittspunkt dieser zwei Strahlen giebt den Ort des Bildes an. Die Konstruktionsmethode zeigt auch, daß ein leuchtender Punkt über, unter und seitwärts von der Achse sein Bild wieder über, unter oder seitwärts von derselben hat, und zwar bei physischen Bildern immer entgegengesetzt liegend.

4) Hat man nun ganze Objekte, so läßt sich die Lage, Größe und Entfernung ihrer Bilder durch Bestimmung der Bilder ihrer äußersten Punkte finden; und denkt man sich die Objekte, wie in der Katoptrik, senkrecht auf die Achse, von dieser halbiert, gestellt, so ist es hinlänglich, wie dort das Bild eines Endpunktes zu bestimmen. Da die Dicke der Linse in den meisten Fällen unberücksichtigt bleibt, so verlegt man zur Vereinfachung der Konstruktion die Gesammtwirkung der Brechung in die Fläche des Grundkreises, in welchem beide Kugelflächen sich treffen (gleichsam eine unendlich dünne Linse), und betrachtet deren Mittelpunkt als optischen Mittelpunkt der Linse. Sind in den Figuren 88, 89 und

90 AB, ab die Objekte, und A'B', a'b' ihre Bilder, gg' der Durchschnitt des Grundkreises, O der optische Mittelpunkt, so zeigt Figur 88, daß wenn das Objekt auf der Vorderseite außerhalb der Brennweite ist, sein Bild auf der Rückseite auch außerhalb der Brennweite ist, doch so, daß, je mehr das Objekt sich seinem Brennpunkte nähert, das Bild sich desto mehr von dem seinigen entfernt; dabei ist es physisch, verkehrt, und nimmt mit der Entfernung an Größe zu. Die Figur 89 zeigt, daß kein Bild entsteht, wenn das Objekt im Brennpunkte ist, da die beiden Strahlen des Punktes A durch die Bre-

Figur 88.

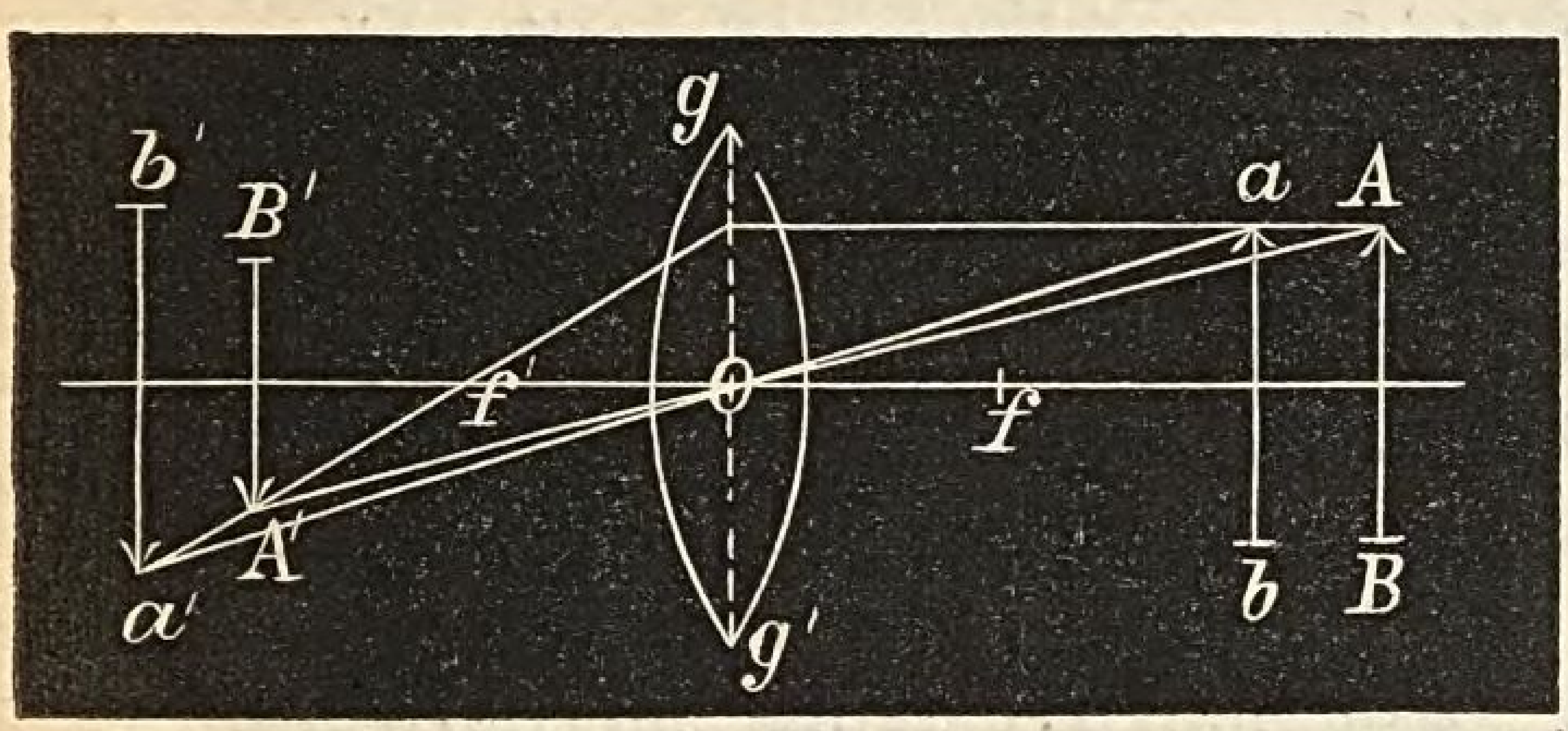
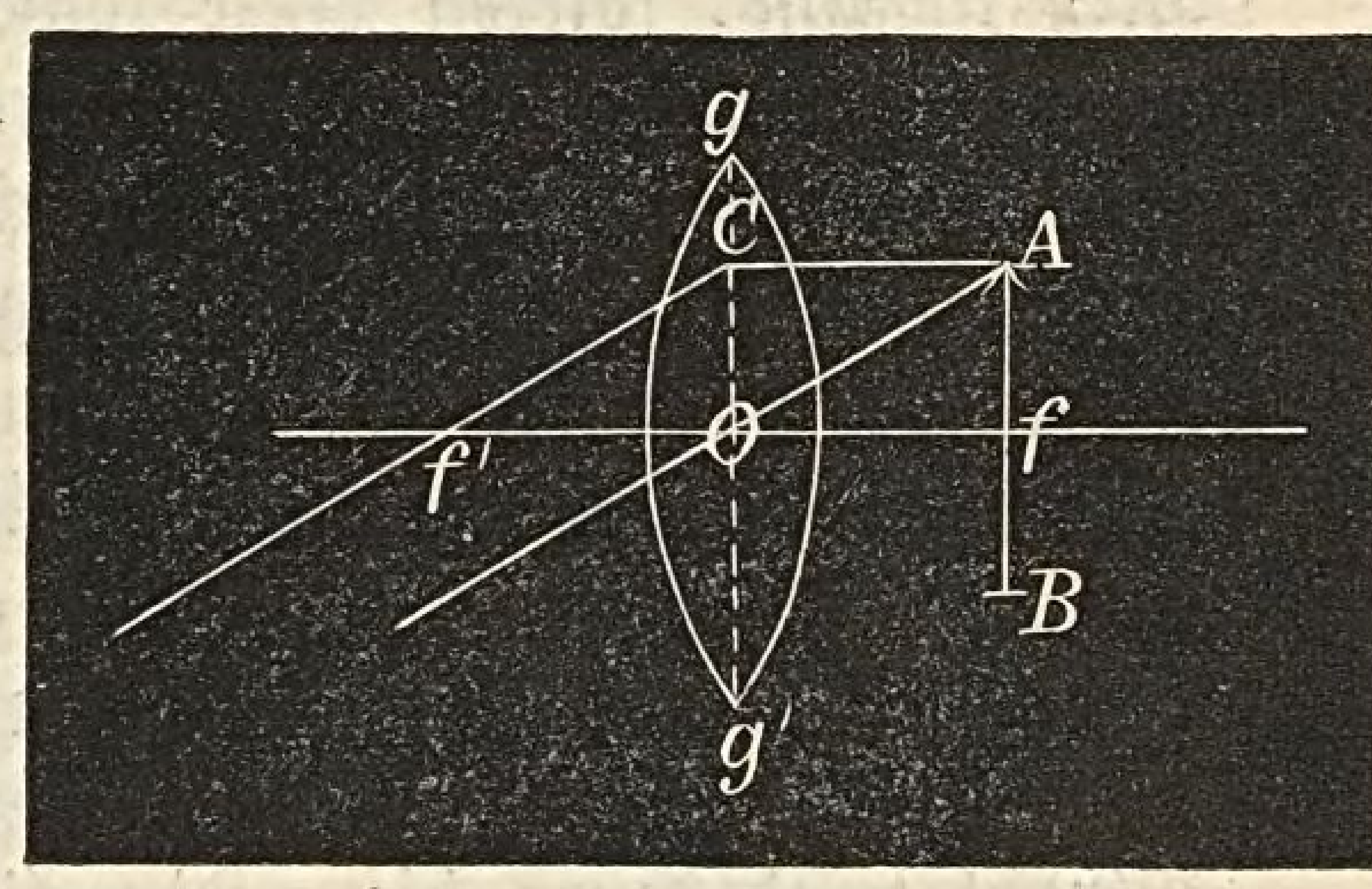
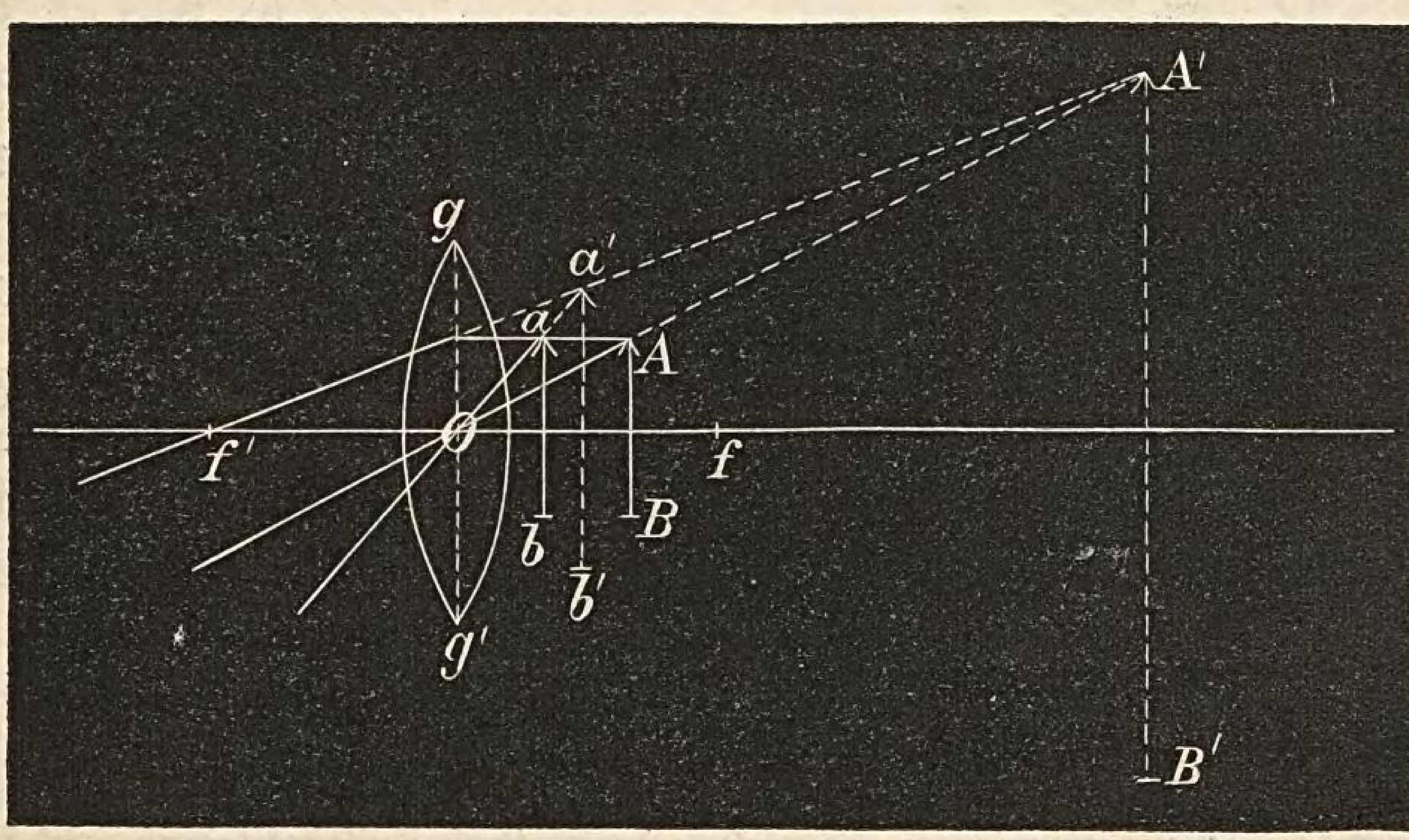


Fig. 89.



Figur 90.



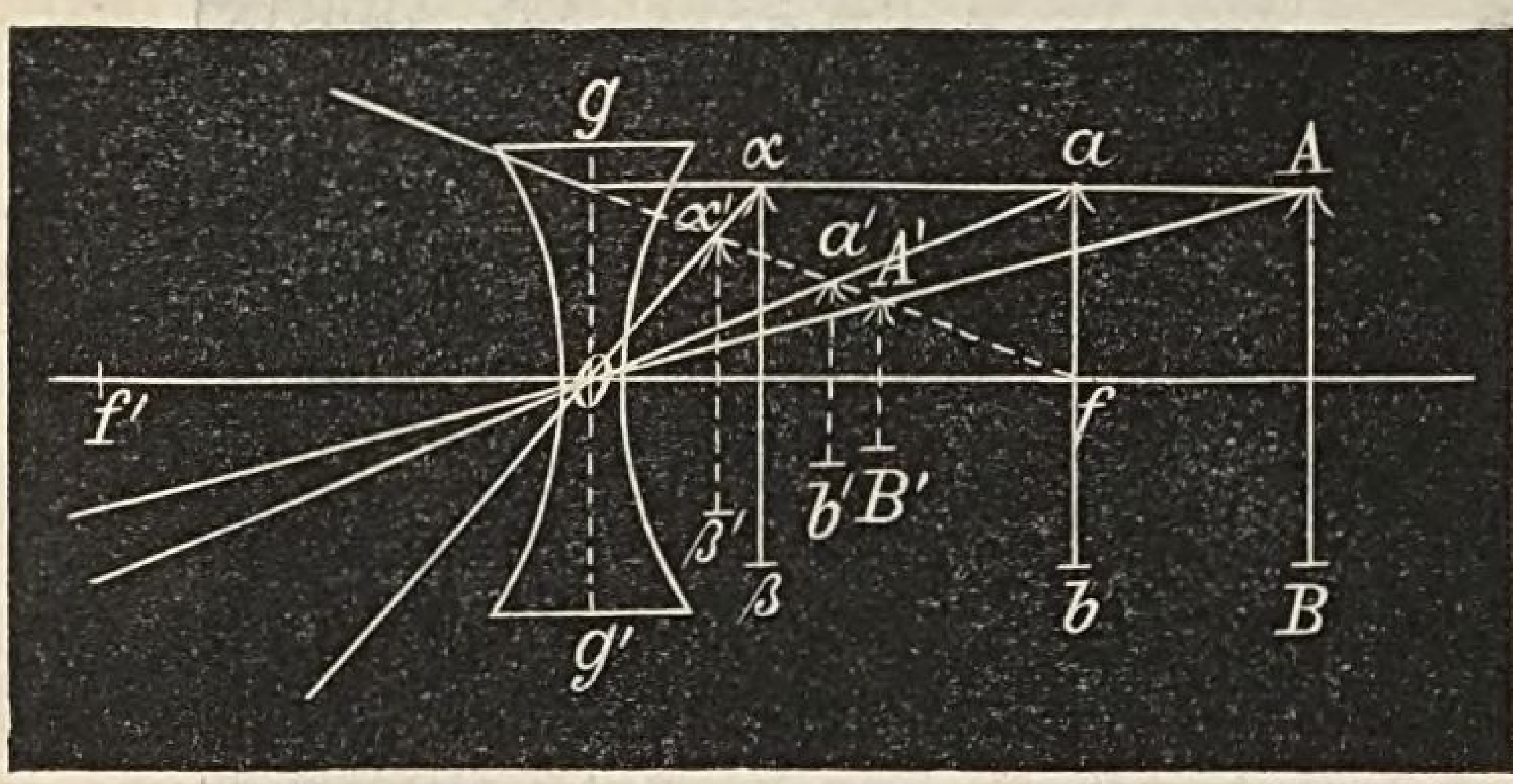
chung parallel werden, denn CA $\#$ und = Of' ($\#$ nach der Annahme, = weil Of' = Of = CA, mithin CAOf' ein Parallelogramm, daher OA $\#$ Cf'. Die Figur 90 endlich zeigt, daß, wenn das Objekt innerhalb der Brennweite ist; das Bild sich auf der Vorderseite befindet, geometrisch, aufrecht und größer, aber an Größe desto kleiner, je näher das Objekt dem Glase ist. Diese Hauptfälle geben nun folgendes Hauptresultat: Rückt das Objekt aus unendlicher Entfernung bis an die Konvexlinse, so bewegt sich sein Bild zuerst auf der Rückseite der Linse aus dem Brennpunkte bis ins unendliche, ist physisch, verkehrt

und an Größe zunehmend; darauf verschwindet es (wenn das Objekt im Brennpunkte ist) und erscheint dann auf der Vorderseite der Linse (sobald das Objekt in die Brennweite tritt), ist geometrisch, aufrecht, größer als das Objekt, nimmt aber an Größe ab, indem es sich der Linse nähert, und fällt zuletzt mit dem Objekte, ihm an Größe gleich, auf der Linse zusammen.

Konkavlinsen.

168. 1) Die drei Arten von Konkavlinsen wirken im allgemeinen auch auf gleiche Weise. Ein mit der Achse parallel auffallender Strahl wird in einer solchen Linse sowohl beim Eintritte als beim Austritte von der Achse entfernt, wie durch Zeichnung leicht zu zeigen ist; divergiert also mit ihr, und schneidet sie mithin, rückwärts verlängert, auf der Vorderseite. **Zerstreuungspunkt, negativer Brennpunkt** oder **Fokus; negative Brennweite** oder **Fokalentfernung.** — Ein zur Achse konvergierender Strahl wird so gebrochen, daß er die Achse auf der Rückseite des Glases in einem von derselben entfernteren Punkte schneidet, als er sie ungebrochen geschnitten hätte; konvergente Strahlen werden also weniger konvergent. Ein mit der Achse divergierender Strahl wird durch die zweimalige Brechung noch divergenter, und muß rückwärts verlängert, die Achse auf der Vorderseite innerhalb der Brennweite schneiden. Die Konkavlinsen begünstigen also die Divergenz.

Figur 91.



2) Indem sich ein leuchtender Punkt auf der Achse aus unendlicher Entfernung bis zur Konkavlinse bewegt, bewegt sich sein Bild auch auf der Vorderseite aus dem negativen Brennpunkte bis dahin. Befindet sich der leuchtende Punkt außerhalb der Achse, so findet man den Ort seines Bildes auch durch richtige Zeichnung des Ganges zweier Strahlen, des zur Achse parallelen, welcher so gebrochen wird, daß er, rückwärts verlängert, durch den negativen Brennpunkt geht, und des durch den optischen Mittelpunkt ungebrochen gehenden. Der Durchschnittspunkt dieses Strahles mit der Rückwärtsverlängerung jenes ist der Ort des Bildes. Hat man endlich ganze Objekte, so ist hiernach die Bestimmung der Lage, Größe und Entfernung ihrer Bilder durch Zeichnung, wie Figur 91 zeigt, zu finden. Auch übersieht man leicht das Übereinstimmende der Konkavlinsen und der Konvexspiegel hinsichtlich der Bilder.

Die Konkavspiegel und die Konvexlinsen begünstigen die Konvergenz der Strahlen, daher giebt es **Sammelspiegel** und **Sammelgläser** in Bezug auf das Licht. **Brennspiegel** und **Brenngläser** in Bezug auf die mit

dem Lichte verbundene Wärme. Die Konvexspiegel und die Konkavlinsen begünstigen dagegen die Divergenz der Strahlen; es giebt daher Zerstreuungsspiegel und Zerstreuungsgläser. — Schwarzes Papier entzündet sich im Brennpunkte eines Brennspiegels oder Brennglases früher, als weißes (§ 187). — Je größere Teile der Kugelflächen die Oberflächen der Linsen sind, desto weniger genau werden die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen durch sie wieder in einem Punkte vereinigt; daraus entsteht Undeutlichkeit der Bilder, die noch durch die sogenannte Farbenzerstreuung (§ 169) vermehrt wird.

3) Von der Zerlegung und Zusammensetzung des Lichtes.

169a. Durch jede Brechung des Lichtes wird eine Farbenerscheinung, die Farbenzerstreuung (Dispersion des Lichtes), bewirkt, unter welcher man die Zerlegung des weißen Sonnenlichtes in einfache verschiedenfarbige Lichtgattungen versteht. Wir erhalten von dieser Erscheinung den deutlichsten Begriff durch das dreiseitige Glasprisma. Newtons (1666) Fundamentalversuche über Farben und die daraus gefolgerten Schlüsse sind, in möglichster Kürze dargestellt, folgende:

I. 1) Läßt man in ein durch Fensterladen verfinstertes Zimmer durch eine kleine Öffnung in einem Laden Sonnenstrahlen hinein, so bildet sich auf der gegenüberstehenden Wand ein rundes, weißes Sonnenbild ab; denn die Sonnenstrahlen, welche auf diese kleine Öffnung gleichsam innerhalb eines Kegels fallen, dessen Grundfläche die Sonne selbst und dessen Gipfel die Öffnung ist, kreuzen sich da, und müssen, im Zimmer innerhalb eines entgegengesetzt liegenden Kegels fortgehend, auf der gegenüberstehenden Wand ein desto größeres, rundes weißes Sonnenbild geben, je entfernter sie ist.

2) Wird nun aber der Strahlenkegel innerhalb des dunkeln Zimmers durch ein dreiseitiges Glasprisma mit unterwärts gehaltenem brechenden Winkel (Figur 85) aufgefangen, so bemerkt man an dem Sonnenbilde auf der 3 bis 4 m entfernten Wand oder auf einem vorgehaltenen undurchsichtigen Schirme eine dreifache Veränderung: 1) es liegt höher als vorhin, 2) es ist nicht rund, sondern länglich, fast fünfmal länger als breit, 3) es ist nicht weiß, sondern farbig, und zwar sieht man von unten nach oben zu folgende Farben allmälig in einander übergehen: rot, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett. Die erste Erscheinung an diesem farbigen Sonnenbilde, welches das Newton'sche Farbenspektrum genannt wird, ist Folge der zweimaligen Aufwärtsbrechung eines jeden Lichtstrahles im Prisma (§ 165); aus der zweiten schließt man, daß das Sonnenlicht ungleiche Brechbarkeit habe, da ja im entgegengesetzten Falle das Sonnenbild zwar erhöht, aber doch rund und von unveränderter Größe sein müßte; aus der zweiten und dritten folgert man, das weiße Sonnenlicht werde durch die Brechung in farbige Lichtgattungen von ungleicher Brechbarkeit zerlegt, so daß das rote Licht am schwächsten, das violette am stärksten gebrochen wird; da jenes am wenigsten, dieses am weitesten von der Stelle des weißen Sonnenbildes durch die Brechung entfernt

worden ist. Auch nehmen die verschiedenen Farben ungleiche Räume ein, denn bei einer Einteilung des Farbenbildes in 360 gleiche horizontale und mit einander parallel laufende Teile kommen auf das Rote 45, auf das Orange 27, auf das Gelbe 48, auf das Grüne 60, auf das Blaue auch 60, auf das Indigo 40, auf das Violette aber 80 solcher Teile. (Tafel des Sonnenspektrums). Die noch stärker gebrochenen, ultra-violetten Lichtstrahlen sind dem Auge nicht mehr wahrnehmbar, zeigen aber chemische Wirkungen; und die zu wenig gebrochenen, jenseit des Roten: Wärme erregend.

Auch wenn das Zimmer nicht verfinstert wird, zeigt sich das farbige Sonnenbild als ovaler Fleck mit den angegebenen Farben, in derselben oder in entgegengesetzter Ordnung, auf der dem Fenster entgegengesetzten Wand, hoch oder niedrig, unter Umständen auf der Decke oder dem Fußboden, je nachdem man das Sonnenlicht auf das Prisma mit dem brechenden Winkel nach oben oder unten fallen läßt. Bei diesem Experimente kann man, wenn das Licht gleichzeitig auf zwei Flächen, z. B. auf die obere und die linke fällt, leicht zwei farbige und zwei farblose Bilder beobachten, jene durch Brechung, diese durch Zurückwerfung des Lichtes entstanden. Wird der brechende Winkel nach unten gehalten, so wirken bei einem der beiden ersteren, wenn das Licht von links kommt, die linke und die rechte Prismenfläche, bei dem andern die obere und die rechte, so wie bei einem der beiden letzteren die obere, bei dem andern die linke Prismenfläche. Von jedem auffallenden Strahle wird ein Teil zurückgeworfen und der andere gebrochen, so daß zu jedem farbigen Bilde ein farbloses gehört.

3) Läßt man mittelst einer besonderen Vorrichtung an dem das Farbenspektrum auffangenden Schirme einen farbigen Strahl auf ein zweites Prisma fallen, so breitet er sich nicht wieder aus und ist also ein einfaches Licht; er wird aber abgelenkt und zwar nach der Farbe verschieden stark: am wenigsten der rote, am meisten der violette. Newton schloß aus der Form des Farbenbildes, dessen lange Seiten, rechts und links, geradlinig, die kurzen dagegen, oben und unten, abgerundet sind, daß das prismatische Farbenbild aus unendlich vielen farbigen Sonnenbildern bestehe, von denen jedes nächstfolgende aus dem vorgehenden sehr wenig heraustrete. Diese Annahme von Farbenkreisen im Farbenspektrum bestätigen neue Versuche. Werden Gläser, die nur bestimmt farbige Strahlen durchlassen, z. B. blaue, die nur blaues oder rote, die nur rotes Licht durchlassen, vor dem Prisma gehalten, so zeigen sich deutlich im Farbenbilde Kreise von der Farbe des durchgelassenen Lichtes an derjenigen Stelle, wohin diese Farbe gehört. Auf ähnliche Art läßt Lakmustinktur fast nur rote Strahlen, einige wenige blaue und violette ausgenommen, durch. Wird nun vor das Prisma ein Glasgefäß mit parallelen Wänden, welches Lakmustinktur enthält, gehalten, so fällt auf das Prisma vorzugsweise rotes Licht, und es zeigt sich statt des länglichen farbigen Bildes nur ein rundes rotes Bild an der Stelle des Rot im Farbenspektrum.

4) Wird das Farbenbild unmittelbar hinter dem Prisma aufgefangen, so ist es in der Art verändert, daß es oben violett, unten gelbrot, in der Mitte aber weiß erscheint. Die unendlich vielen farbigen Sonnenbilder sind hier so nahe an- und ineinander gerückt, daß selbst noch die äußersten sich zum Teil decken, mithin in der Mitte alle

farbigen Lichtgattungen vorkommen und das Weiße hervorbringen, dessen Raum mit der Entfernung der auffangenden Fläche vom Prisma abnehmen muß, so wie in demselben Maße die Farben desto deutlicher hervortreten. Erreicht die auffangende Fläche endlich die Entfernung, daß das Weiße in der Mitte ganz verschwindet, so erscheint das prismatische Farbenbild vollständig.

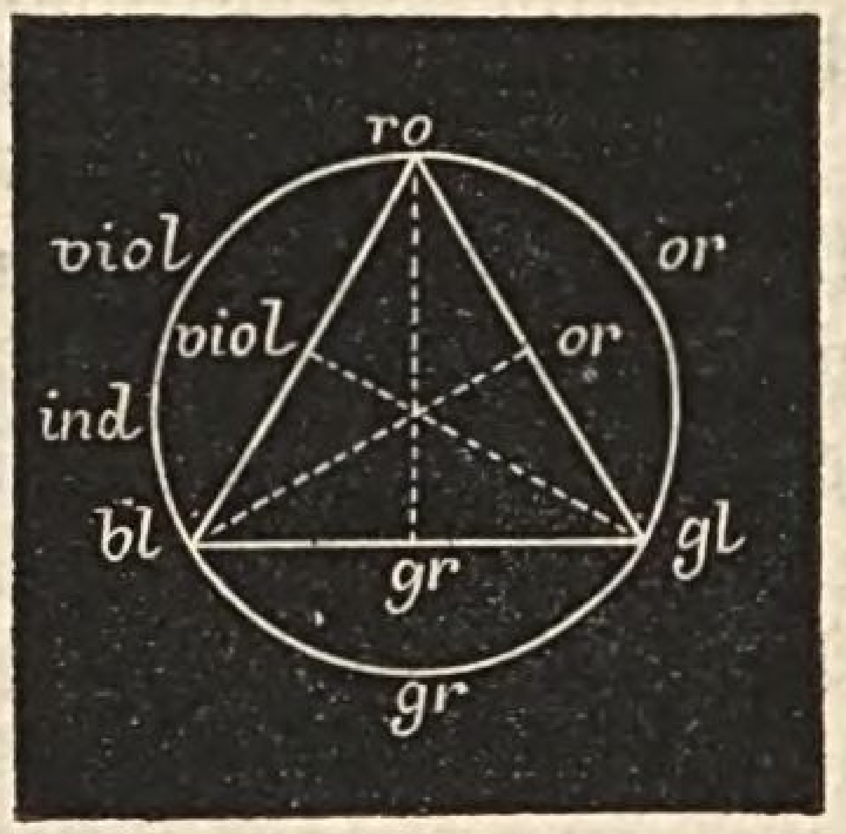
5) Läßt man das prismatische Sonnenbild auf eine Konvexlinse fallen, welche die farbigen Strahlen im Brennpunkte vereinigt, so zeigt sich auf dem im Vereinigungspunkte aufgestellten Schirme deutlich ein rundes weißes Bild (experimentum crucis); fängt man es aber, hinter diesem Punkte auf, so zeigt sich ein längliches Bild, welches aber, weil sich die farbigen Strahlen in diesem Punkte kreuzten, die Farben in umgekehrter Ordnung, als im gewöhnlichen prismatischen Bilde, also oben rot und unten blau, enthält.

Aus diesen Versuchen schloß nun Newton: 1) das weiße Licht ist nicht einfach, sondern eine Mischung aus verschiedenfarbigen Lichtgattungen, so daß jeder einzelne Sonnenstrahl aus verschiedenfarbigen Lichtstrahlen besteht. 2) Diese verschiedenfarbigen Strahlen haben verschiedene Brechbarkeit; die roten werden am schwächsten, die violetten am stärksten gebrochen. 3) So oft sich solche farbigen Strahlen in demjenigen Verhältnisse, in welchem sie im Sonnenlicht gemischt vorkommen, vereinigen, bringen sie die Erscheinung des weißen Lichtes hervor.

6) Mittelst einer Glaslinse, die durch einen mit parallelen Öffnungen versehenen Schirm so bedeckt werden kann, daß man nach Belieben zwei oder mehrere Farben auffallen und sich nach der Brechung vereinigen lassen kann, erhält man Mittelfarben, z. B. Grün aus Gelb und Blau — Orange aus Rot und Gelb — Violett aus Rot und Blau. Grün erhält man aber auch durch die Vereinigung aller farbigen Strahlen mit Auslassung der roten — Orange durch Auslassung der blauen — Violett durch Auslassung der gelben. Weil nun hiernach dem Violetten zum Weiß das Gelbe fehlt, dem Grün zum Weiß das Rot und dem Orange das Blau, so nennt man diese zum Weiß sich gegenseitig ergänzenden Farben, wie Rot und Grün, oder Orange und Blau, oder Violett und Gelb, Ergänzungsfarben, komplementäre Farben. Rot, Gelb und Blau bringen auch Weiß hervor, denn diese drei Farben sind, da Grün aus Gelb und Blau entstehen kann, gleich Rot und Grün — oder, da Violett aus Rot und Blau entstehen kann, gleich Gelb und Violett — oder endlich, da Orange aus Rot und Gelb entstehen kann, gleich Blau und Orange. Die hiernach entworfene Figur 92 dürfte hierbei dem Gedächtnisse einige Dienste leisten. Rot, Gelb und Blau heißen auch primäre, und Orange, Grün und Violett sekundäre Farben; jene auch Grundfarben, diese dagegen gemischte Farben. Man kann daher auch sagen: zu jeder Grundfarbe ist die aus den beiden andern Grundfarben gemischte Farbe die Ergänzungsfarbe, oder zu jeder gemischten Farbe ist die

fehlende dritte Grundfarbe: die Ergänzungsfarbe. Denkt man sich drei sich schneidende farbige Kreise und zwar (1) rot, (2) blau und (3) gelb, so entsteht, wo (1) und (2) zusammenfallen, Violett — wo (1) und (3) zusammenfallen, Orange — wo (2) und (3) zusammenfallen, Grün — und wo (1) und (2) und (3) zusammenfallen, Weiß. Das Auge gelangt also zur Empfindung einer bestimmten Farbe, z. B. der grünen, entweder durch Einwirkung der Strahlengattung dieser Farbe, hier also der grünen, oder durch die gleichzeitige Einwirkung zweier oder mehrerer farbiger Strahlengattungen, hier der gelben und blauen.

Figur 92.

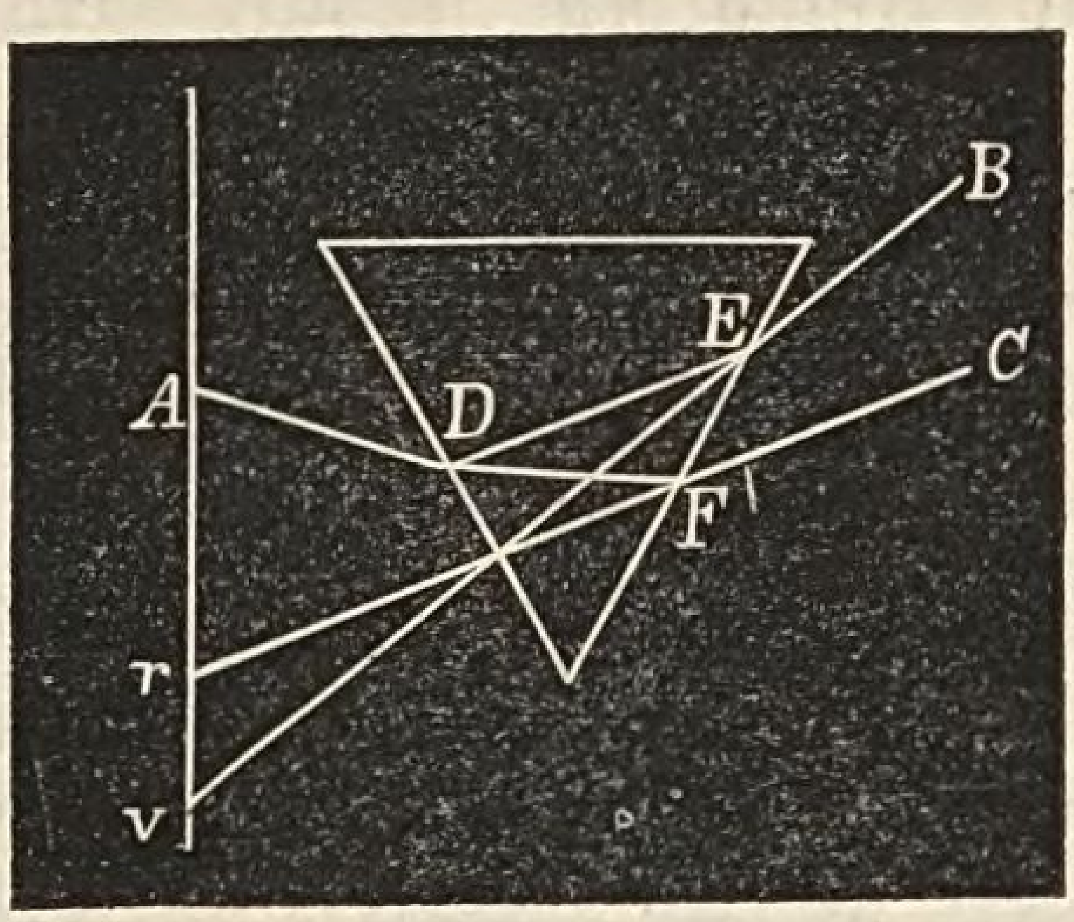


Jenes Grün heißt einfaches, und dieses gemischtes Grün u. s. w.; jenes bleibt durch das Prisma gesehen, Grün, dieses wird in Gelb und Blau zerlegt.

Eine weiße Wand erscheint violett gefleckt, wenn wir vorher anhaltend einen gelben Gegenstand, orange gefleckt, wenn wir einen blauen, und grün gefleckt, wenn wir einen roten betrachtet haben. Zwei komplementäre Farben befriedigen das Auge mehr, als solche, die es nicht sind.

II. 1) Ist in Figur 93 A ein weißer Punkt auf schwarzem Grunde, so wird der Strahl AD in dem horizontal gehaltenen Prisma mit dem brechenden Winkel nach unten, sowohl in D als in E aufwärts gebrochen, wodurch, wie schon bekannt ist, dieser Punkt dem hinter dem Prisma sich befindenden Auge erniedrigt erscheinen muß (§ 165). Da aber die Brechung den weißen Strahl in farbige Strahlen von verschiedener Brechbarkeit zerlegt, so breitet sich AD in D in die Winkelfläche EDF so aus, daß längs DE der violette, längs DF der rote, zwischen DE und DF die übrigen farbigen Strahlen in ihrer natürlichen Ordnung im prismatischen Bilde fortgehen; zwischen E und F auf der andern brechenden Fläche werden die farbigen Strahlen wieder aufwärts gebrochen, jeder seinem Brechungsverhältnisse gemäß, der violette längs EB, der rote längs FC, die übrigen dazwischen. Ein Auge in B, welches nur von violetten Strahlen getroffen würde, müßte den weißen Punkt A in v als violetten; ein Auge in C, nur von roten Strahlen getroffen, müßte den weißen Punkt A in r als roten Punkt sehen u. s. w., mithin wird ein Auge, von allen farbigen Strahlen getroffen, den weißen Punkt A als eine farbige, senkrechte Linie vr sehen, welche die prismatischen Farben, von unten nach oben betrachtet, in umgekehrter Ordnung enthält.

Figur 93.



2) Geht durch A eine horizontale Linie, so muß diese auf dieselbe Art, durch das Prisma betrachtet, da jeder ihrer Punkte zu einer kleinen

senkrechten farbigen Linie wird, als ein horizontaler gerader Streifen von der Breite rv mit den prismatischen Farben in umgekehrter Ordnung, erscheinen.

3) Denken wir uns eine senkrechte weiße Linie durch das horizontal gehaltene Prisma angesehen, so müssen, da jeder einzelne Punkt sein eigenes Farbenbild als eine kleine senkrechte Linie hat, diese Farbenbilder sich größtenteils bedecken, indem die mittleren und unteren Farbenstrahlen des höchsten Punktes mit den oberen und mittleren des zweiten Punktes zusammenfallen u. s. w., so daß also nur die roten Strahlen des obersten Punktes und die blauen des untersten unvermischt ins Auge gelangen, aus der Mitte dagegen eine Mischung aller farbigen Strahlen — es muß mithin die senkrechte Linie unten blau, oben gelbrot, in der Mitte aber weiß erscheinen. Eine weiße Fläche, die wir uns hier durch Aneinanderreihen senkrechter weißer Linien entstanden denken können, erscheint daher auf schwarzem Grunde (ein Blatt weißes Papier auf schwarzer Wachsleinwand) nicht ganz farbig, sondern hat nur farbige Ränder, oben rot und gelb, unten blau und violett, während die Mitte unverändert weiß bleibt. Ist aber das weiße Blättchen sehr schmal, so verschwindet das Weiß und man sieht nur Regenbogenfarben. Eine weiße Fläche auf weißem Grunde, eben so eine weiße Wand, die wieder mit weißen Wänden zusammenstößt, müssen ganz weiß erscheinen, da ja nirgends die Endfarben des als farbige Linie sich darstellenden Bildes eines Punktes für sich hervortreten können.

4) Eine schwarze Linie, ebenso eine schwarze Fläche auf weißem Grunde erscheinen oben blau, unten rot — was nur eine scheinbare Umkehrung ist, indem die Farben nicht auf das Schwarze, sondern auf das Weiße über und unter dem Schwarzen zu beziehen sind; es sind hier nämlich zwei weiße Flächen durch die schwarze getrennt, und das obere Blau der schwarzen Fläche ist nur das untere Blau der oberen weißen Fläche, so wie das untere Rot der schwarzen Fläche nur das obere Rot der unteren weißen Fläche.

5) Auch andere farbige Körper erscheinen durch das Prisma gesehen mit farbigen Säumen, weil keiner einfaches farbiges Licht ausstrahlt; sie erscheinen oben blau, unten gelb oder umgekehrt, je nachdem sie dunkler oder lichter als die Umgebung sind.

Eine Spiritusflamme, deren Docht stark mit Kochsalz eingerieben ist, erscheint gelb und giebt auch durch das Prisma ein entschieden gelbes Bild mit einem sehr matten violetten Rande; auf ähnliche Art machen Lithion und Strontian die Flamme rot.

III. 1) Die bleibenden Farben der Körper erklärt Newton daraus, ob ein Körper die Fähigkeit hat, das auf ihn fallende Licht ganz, oder gar nicht, oder zum Teil zurückzuwerfen; letzteres in der Art, daß er es zersetzt und eine Art farbigen Lichtes zurückwirft, während er die andern absorbiert und ganz unwirksam macht. Hiernach wäre ein weißer Körper darum weiß, weil er alles Sonnenlicht unverändert zurückwirft, ein grüner grün, weil er nur die grünen, ein blauer blau, weil er nur

die blauen Lichtstrahlen zurückwirft, alle andersfarbigen Strahlen aber absorbiert u. s. w.; ein schwarzer endlich aber schwarz, weil er gar kein Licht zurückwirft, sondern dasselbe ganz absorbiert. Es giebt aber in der Wirklichkeit keinen Körper, der gar kein oder alles, oder nur grünes, nur rotes ꝛc. Licht zurückwirft, sondern nur solche Körper, die sehr weniges oder fast alles, oder vorzugsweise grünes, rotes ꝛc. Licht zurückwerfen. Es giebt also keinen vollkommen schwarzen, vollkommen weißen, vollkommen grünen ꝛc. Körper. Die Farben der Körper sind mehr oder weniger zusammengesetzt (II, 5). — Auch die durchsichtigen Körper lassen entweder das Licht unzersetzt durch oder nur eine bestimmte farbige Gattung; jenes geschieht in dem sogenannten wasserhellen, dieses bei dem blauen, roten, grünen ꝛc. Glase.

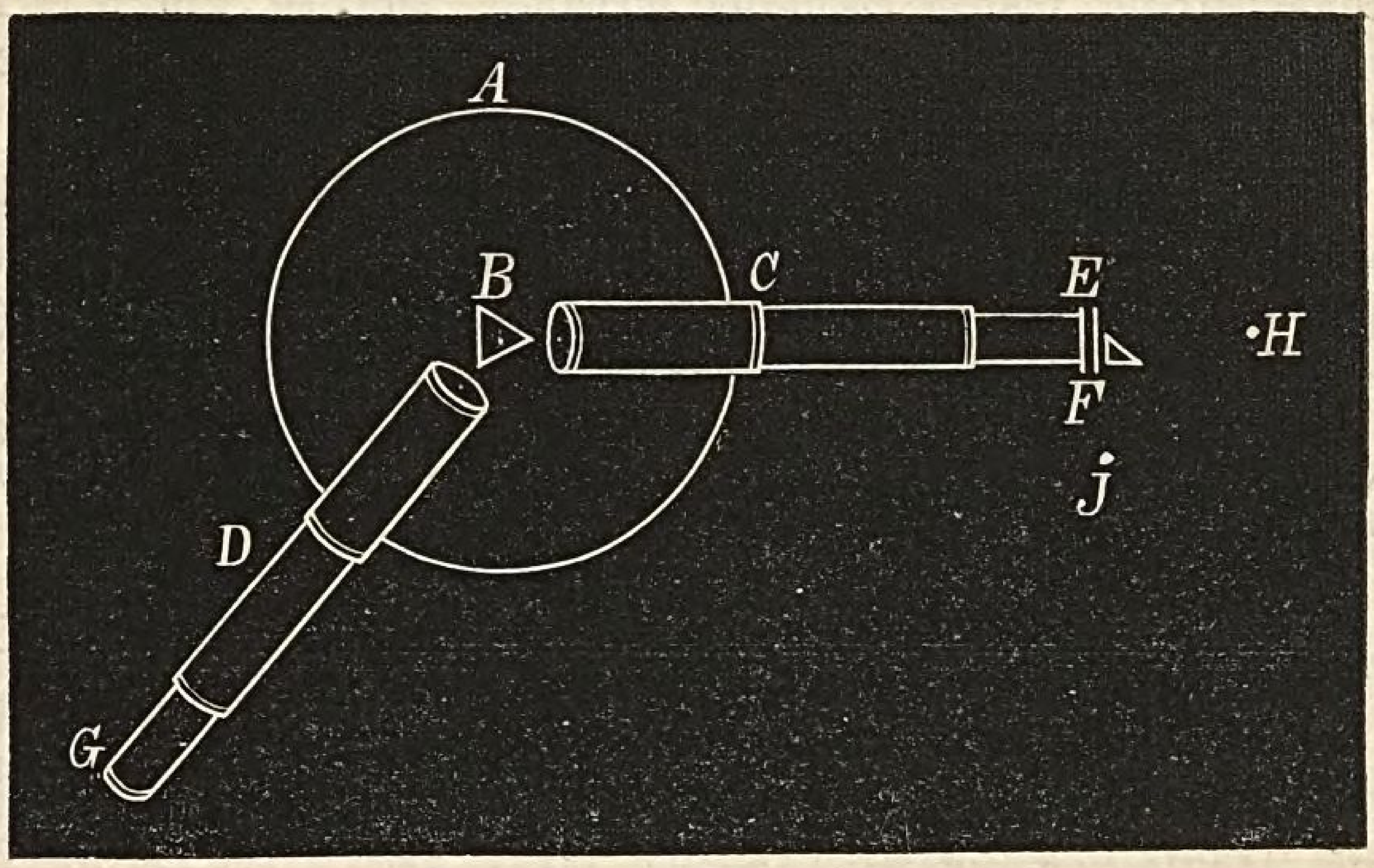
2) Wird ein Körper nicht von weißem Lichte, welches alle verschiedenfarbigen Strahlen in sich enthält, beleuchtet, wie in (1) angenommen wurde, sondern vom einfarbigen Lichte, so erleiden die natürlichen Farben der Körper Veränderungen. Ein weißer Körper z. B. von blauem Lichte beschienen, muß, da er alles Licht zurückwirft, auch das blaue zurückwerfen und daher blau erscheinen; eben so wird ein bei Tageslicht blauer Körper in demselben Falle unverändert blau erscheinen, da er ja eben die Eigenschaft besitzt, vorzugsweise blaue Lichtstrahlen zurückzuwerfen; der blaue Körper aber von gelben oder roten ꝛc. Strahlen beleuchtet, muß schwarz erscheinen. Dasselbe gilt in ähnlicher Art von jedem bestimmtfarbigen Körper, der von einfarbigem Lichte beleuchtet wird. Hiermit hängen die sehr auffallenden Veränderungen in den lebhaften Farben der Stoffe, Blumen u. s. w. zusammen, wenn sie statt bei Tageslichte oder bei gewöhnlichem Kerzenlichte, bei einfarbigem Lichte, z. B. dem gelben einer Spiritusflamme, deren Docht mit Kochsalz stark eingerieben worden ist, betrachtet werden.

Farbenspindel und Farbenkreisel — Bousolts Farbenkreisel: teilt man einen Kreis in farbige Sektoren, dem Verhältnis der Farben wie l. 2 entsprechend, so entsteht durch schnelle Umdrehung eine Vereinigung der Farben-Eindrücke im Auge und die Scheibe erscheint weiß, wenigstens annähernd, da die aufgetragenen Pigmente die entsprechenden Farben nicht ganz rein geben — Newton — Euler — Göthe — objektive, subjektive, physiologische und pathologische Farben — Nachbilder in Aubert, Physiologie der Netzhaut, wo auch zahlreiche Versuche und Resultate über Vereinigung von zwei und mehreren Farben.

169b. I. 1) Dunkle Spektrallinien oder Frauenhofer'sche Linien im Sonnenspektrum. Im Sonnenspektrum, dessen Farben ganz allmälig in einander übergehen, entdeckten Wollaston und besonders Frauenhofer (1814) eine Menge dunkler Linien oder Streifen, welche dasselbe parallel mit den kürzeren Seiten unterbrechen. Sie sind verschieden breit, kommen einzeln und in Gruppen vor, aber immer an genau denselben Stellen, aus welcher durchsichtigen Materie (z. B. Kronglas, Flintglas, Wasser, Alkohol) auch immer das Prisma sein mag. Frauenhofer zählte solcher dunkler Linien an 600; die Zahl derselben kann bei starker Vergrößerung mehr als tausend betragen. Die leicht erkennbaren bezeichnete er vom Roten zum Violetten hin mit

den Buchstaben A, a, B, C, D, E, b, F, G, H; von welchem im Roten liegen A, B und C, und zwar a näher an A als an B; C an der Grenze gegen das Orange, ferner D an der Grenze von Orange und Gelb, E und b im Grünen, F im Blauen, G an der Grenze vom Indigo und Violett, und H im Violetten. Dabei sind A, C, F einfache Linien, B und D Doppellinien, a, E, b, G und H (H_1, H_2) Streifengruppen. Auch die Atmosphäre veranlaßt, wenn sich die Sonne dem Horizonte nähert, dunkle Linien, die hier aber außer Betracht kommen.

Figur 94.



2) Diese dunklen Linien, welche als Lücken in dem farbigen Sonnenspektrum erscheinen, dachte man sich dadurch entstanden, daß zwar die Wellenlängen der farbigen Lichtgattungen vom violetten Lichte bis zum roten im allgemeinen zunehmen (§ 171, 2), doch die diesen Stellen entsprechenden Wellensysteme im Sonnenlichte fehlen, weshalb sie also infolge eines Mangels bestimmter Lichtarten dunkel erscheinen müssen. Die Spektralversuche von Kirchhoff und Bunsen (1860) haben jetzt auf eine andere Erklärung geführt. Einen einfachen Spektral-Apparat zu diesen Versuchen für Schulzwecke deutet Figur 94 an. Auf einem festen Fußgestelle ruht eine hölzerne Kreisscheibe A und in deren Mitte ein niedriges, senkrechtes Glasprisma B von 60° brechendem Winkel auf einem drehbaren Metallscheibchen; C und D sind zwei kleine Fernröhre, von denen C fest ist und statt der Okularlinse eine durch zwei Messingschneiden gebildete Spalte E, die sich mehr und weniger eng machen läßt, hat, vor deren unteren Hälfte ein kleines rechtwinkeliges Glasprisma F angebracht ist; D dagegen ist beweglich eingerichtet. Stellt man die Spalte in den Brennpunkt der Objektivlinse, die Fernröhre etwa unter 135° zu einander, wie in der Figur angegeben, so wie das Prisma B richtig, und überdeckt man das Prisma und die benachbarten Enden der Fernröhre mit schwarzer Leinwand, so zeigt sich dem in das richtig gestellte Okular G des astronomischen Fernrohrs D hineinsehenden Beobachter das Spektrum schön und zwar aus optischen Gründen in dem unteren Teile des Gesichtsfeldes, wenn das Licht durch die obere freie Hälfte des Spaltes E hineindringt, also die Lichtquelle von H aus wirkt; in dem oberen Teile des Gesichtsfeldes dagegen, wenn das Licht durch den unteren, mittelst des Prismas F

bedeckten Teil der Spalte eindringt, was nur möglich ist, wenn die Lichtquelle sich seitwärts in J befindet. Durch Drehung des Prismas B läßt sich das Spektrum in seiner ganzen Ausdehnung dem beobachtenden Auge vorführen.

3) Das Sonnenspektrum erscheint immer sehr schön, eben so die Frauenhofer'schen Linien bei angemessen verengter Spalte und richtiger Stellung des Okulars, sowohl bei unmittelbar als auch bei von einem Spiegel zurückgeworfenem und darauf erst in die Spalte einfallendem Tageslichte, sei es durch deren obere oder untere Hälfte.

Die Planetenspektra, namentlich die des Mars und der Venus, so wie das Mondspektrum zeigen ebenfalls dieselben dunklen Linien. Die Fixsternspektra haben zum Teil andere Linien, z. B. das des Sirius hat keine im Orange, wohl aber starke Streifen im Grünen und Blauen.

II. Die Spektra des künstlichen Lichts von Lampen, Kerzen und Leuchtgas sind sehr schön kontinuierlich wie das Sonnenspektrum, aber ohne alle dunklen Linien. Dagegen bemerkt man nicht selten an der Stelle der Frauenhofer'schen Linie D einen rötlich-gelben Streifen, der auch eine Doppellinie ist, und von welchem bei (III) noch die Rede sein wird.

Auch ein durch die Volta'sche Säule glühend gemachter ganz reiner Platinadraht und das Drümmond'sche Kalklicht geben, wie das Licht eines jeden glühenden festen oder flüssigen Körpers, bloße kontinuierliche Spektra ohne dunkle Linien. Belehrend ist die gleichzeitige Erzeugung der Spektra der Sonne und z. B. der Kerzenflamme in den zwei Hälften des Gesichtsfeldes im Fernrohre.

III. 1) Helle Spektrallinien oder Spektra chemischer Elemente. Werden in der nur schwach leuchtenden Flamme des Leuchtgases Kalium, Natrium u. s. w. verflüchtigt, so bringen die entstandenen glühenden Gase auch Spektra hervor, die aber sehr selten aus den gewöhnlichen verschiedenfarbigen Räumen vom Roten bis zum Violetten, sondern nur aus einzelnen hellen Linien von verschiedenen Farben auf dunklem Grunde bestehen. Diese Spektra sind also diskontinuierlich oder interrupte. (S. d. Spektraltafel.)

Vorzügliche Dienste leistet hierbei Bunsens Gaslampe. Sie besteht im wesentlichen aus einem Kreuzschnittbrenner, über welchen ein weiteres Rohr, unten mit vier Öffnungen versehen, gesetzt ist und welcher mittelst eines Guttaperchaschlauches das Leuchtgas zugeführt erhält; die störende Unruhe der Flamme zu beheben, dient ein aufzusetzender, abgekürzter Blechkegel. Indem die aufgesetzte Röhre gedreht wird, kann man die Öffnungen offen lassen oder schließen. Bei offenen Öffnungen ist die Flamme nicht leuchtend; denn dem aus dem Brenner tretenden Leuchtgase wird so viele Luft zugeführt, daß es an der oberen Mündung nur noch schwach blau und völlig rußfrei verbrennt; bei geschlossenen Öffnungen tritt die Luft erst oben hinzu und man erhält die gewöhnliche hellleuchtende und rußende Leuchtgasflamme. Diese leuchtende Flamme giebt ein kontinuierliches Spektrum ohne dunkle Linien; die nicht leuchtende oder dunkle Flamme giebt dagegen gar kein Spektrum, aber sie wird wegen ihrer sehr hohen Temperatur zur Verflüchtigung von Stoffen gebraucht, deren Dämpfe in Bezug auf Spektrallinien untersucht werden.

2) Mittelst des Spektralapparats und der Bunsen'schen dunklen Flamme, statt welcher auch die Flamme des Schwefels, des wasserhaltigen Alkohols, des Wasserstoffgases u. s. w. gebraucht worden sind,

lassen sich folgende diskontinuierliche Spektra zeigen: Das Spektrum des Natriums ist eine gelbe Doppellinie, da wo die Frauenhofer'sche Doppellinie D liegt — des Lithiums eine schwache gelbe Linie β nahe bei D nach C hin, und eine glänzende rote α zwischen C und B — des Kaliums — bildet drei Linien: im äußersten Rot, wo A, eine schwache rote, wo B, und eine violette β, in d. Nähe v. H, — des Strontiums eine orange Linie α dicht neben D nach dem Roten hin, sechs rote hinter derselben nach C hin und eine blaue δ zwischen F und G — des Kalziums hat mehrere Linien zwischen C und E, eine intensive Linie β im Gelben zwischen D und E, so wie eine intensiv orange α zwischen D und C — des Baryums enthält viele helle Linien vom Roten bis zum Blauen, von denen zwei sehr intensiv grüne Linien α und β den Frauenhofer'schen Linien E und b entsprechen.

Zu diesen Versuchen werden bequem die Chlorsalze, nämlich Chlornatrium, Chlorlithium u. s. w. gebraucht. Auf diese Art sind bereits die Spektra vieler anderer chemischer Elemente festgestellt. Das Spektrum des elektrischen Funkens zeigt dieselben Linien, wie die Metalle, aus welchen die Elektroden bestehen, oder mit deren Salzlösungen diese belegt worden sind. Bestimmte Linien giebt auch der elektrische Bogen zwischen Kohlenspitzen, so wie das geschichtete elektrische Licht in den Geisler'schen Röhren. — Das Natrium ist in der Luft sehr verbreitet, daher zeigen Lampen- und Kerzenlicht, so wie auch der glühende Kalkcylinder oft die lichte Linie D, welche nach längerer Zeit verschwindet.

3) Schon die geringsten, fast unendlich kleinen Mengen der alkalischen und Erdmetalle rufen die entsprechenden Spektra hervor, und man kann aus der Beschaffenheit eines Spektrums denjenigen Körper erkennen, welcher dasselbe hervorbrachte. Hierauf gründet sich die sogenannte Spektralanalyse der Körper, die für die Chemie, z. B. in Bezug auf die Analyse der Mineralwässer, der Felsarten, von der außerordentlichsten Wichtigkeit ist, auch notwendig zur Entdeckung neuer Stoffe führen muß, wie denn Kirchhoff und Bunsen auf diesem Wege bereits zwei neue Metalle, nämlich das Rubidium und Zäsium entdeckt haben.

IV. 1) Zusammenhang der dunklen und lichten Spektrallinien. Der innige Zusammenhang der dunklen Linien im Sonnenspektrum und der lichten Linien in den Spektren der chemischen Elemente zeigt sich nicht blos in der häufigen übereinstimmenden Lage derselben, denn bei wenigstens 60 ist die Koincidenz bereits nachgewiesen, sondern auch darin, daß die lichten Linien sich ohne Ortsveränderung in dunkle Linien verwandeln oder umkehren lassen, indem man eine recht intensive Lichtart, die ein kontinuierliches Spektrum ohne dunkle Linien giebt, ehe sie in den Spalt tritt, durch die, die lichten Linien verursachenden, Flammen gehen läßt. Wird vor den Spalt eine Alkoholflamme, deren Docht mit Kochsalz eingerieben ist, gestellt, so erscheint die lichte gelbe Linie D, wird hierauf hinter dieser Flamme ein durch die Volta'sche Säule glühend gemachter Platinadraht oder ein im Knallgasgebläse in Weißglühhitze versetzter Kalkcylinder gebracht, so daß dessen Licht nur durch die Alkoholflamme, in welcher das Natrium

verflüchtigt wird, nach dem Spalte gelangen kann, so sieht man die helle Linie D in die dunkle Linie D verwandelt. Geht helles Sonnenlicht, ehe es in die Spalte tritt, durch eine solche eingeschaltete Natrium-Alkoholflamme, so zeigt sich die Linie D viel dunkler, als ohne diese Einschaltung. Diese Umkehrung der hellen Linien in dunkle haben Kirchhoff und Bunsen zunächst beobachtet beim Kalium, Lithium, Natrium, Strontium, Kalzium und Baryum. Sie ziehen hieraus den Schluß: Farbige Flammen, welche helle Spektrallinien geben, schwächen und absorbieren die mit diesen Linien gleichfarbigen Strahlen einer hinter den Flammen aufgestellten intensiven Lichtquelle, in deren kontinuierlichem Spektrum die dunklen Linien fehlen, so sehr, daß an Stelle der hellen Linien dunkle auftreten.

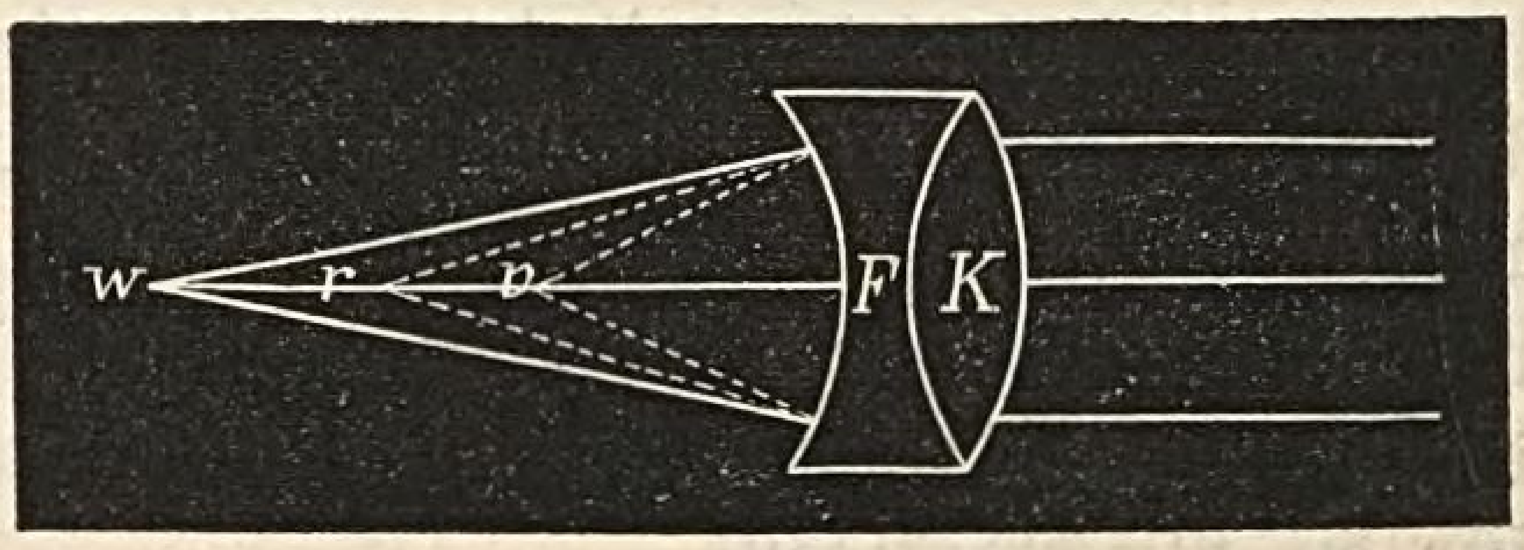
2) Auf Grund dieses Schlusses geben die beiden Physiker eine Erklärung der dunklen Linien im Sonnenspektrum. Strömt nämlich ein glühender Körper sehr helles Licht aus, welches ein kontinuierliches Spektrum ohne dunkle Linien, z. B. ohne die dunkle Linie D hervorbringt, und ist dieser Körper von einer weniger leuchtenden Atmosphäre, in welcher Natriumdämpfe vorhanden sind, umgeben, so muß nach dem Vorhergehenden in dem Spektrum dieser doppelten Lichtquelle die dunkle Doppellinie D zum Vorschein kommen. Das ist nun der Fall bei der Sonne, deren glühender Kern, welcher Aggregatsform er auch sein mag, vorzugsweise Licht ausstrahlt und eine viel höhere Temperatur hat, als ihre ebenfalls glühende Atmosphäre. Man sagt nun: Da das Sonnenspektrum die dunkle Linie D zeigt, die mit der lichten Natriumlinie D zusammenfällt, so befinden sich Natriumdämpfe in der Sonnenatmosphäre. Auf solche Untersuchungen und Schlüsse gründet sich die Angabe, daß die Sonnenatmosphäre Natrium, Kalzium, Magnesium, Eisen, Chrom enthalte, daß auch Nickel sichtbar sei, so wie scheinbar kleine Menge von Baryum und Kupfer; daß dagegen in derselben nicht vorkommen: Gold, Silber, Quecksilber, Aluminium, Kadmium, Zinn, Blei, Antimon, Arsen, Strontium, Lithium.

Erklärung der Sonnenflecken. — Weitere Folgerungen in Bezug auf die physische und chemische Beschaffenheit anderer Himmelskörper aus der Untersuchung ihrer Spektra.

170. Die mit der Brechung verbundene Farbenzerstreuung macht, daß wir die Gegenstände durch Linsen undeutlich sehen. Es giebt aber zwei Glasarten, Kronglas (Kiesel, Kali, Kalk) und Flintglas (Kiesel, Kali, Bleioxyd), welche das Licht fast gleich stark brechen (153 : 158), die Farben aber verschieden stark zerstreuen (2 : 3, auch 1 : 2) und aus welchen sich Prismen und Linsen so zusammensetzen lassen, daß die auf Kosten der Deutlichkeit erscheinenden farbigen Ränder ganz wegfallen und nur noch eine Brechung ohne Farbenzerstreuung stattfindet. Sie heißen deshalb farbenlose oder achromatische Prismen und Linsen. Ein achromatisches Prisma besteht aus einem Flintglasprima und einem Kronglasprisma von einem größeren brechenden Winkel, welche so an einander gelegt sind,

daß die brechenden Winkel nach entgegengesetzten Seiten liegen. Die durch sie betrachteten Gegenstände erscheinen ohne farbige Ränder, aber doch noch von ihrer Stelle und zwar in der dem Kronglase zukommenden Richtung gerückt, jedoch weniger, als es durch das Kronglasprisma allein geschehen wäre; was sich so übersehen läßt: Sind die brechenden Winkel klein, so sind die Längen der Farbenbilder nahe diesen Winkeln proportional, so daß also ein Kronglasprisma von 12½ ° nur ein halb so langes Farbenbild giebt, als ein anderes Kronglasprisma von 25 °; dagegen giebt ein Flintglasprisma von 12½ ° ein gleich langes Farbenbild mit dem Kronglasprisma von 25 °, wenn das Flintglas zweimal so stark farbenzerstreuend wirkt als das Kronglas — da aber diese beiden Glasarten ein fast gleiches Brechungsvermögen haben, sich also in dieser Beziehung wie die brechenden Winkel verhalten, so wird das Flintglasprisma von 12½ ° die Ablenkung des Kronglasprismas von 25 ° etwa zur Hälfte aufheben. Eine achromatische Linse besteht gewöhnlich aus einer Konvexlinse von Kronglas und einer Konkavlinse von Flintglas; es giebt aber auch solche, die aus zwei konvexen Kronglaslinsen und einer konkaven Flintglaslinse zwischen ihnen zusammengesetzt sind. Im ersten Falle würden in Figur 95 durch die Konvexlinse aus Kronglas die am meisten brechbaren violetten Strahlen in v, die am wenigsten brechbaren roten in r, die übrigen in der bekannten Ordnung zwischen v und r, vereinigt werden. Die Konkavlinse aus Flintglas aber, welche die erhaltenen konvergenten Strahlen weniger konvergent macht, rückt die Vereinigung jeder Gattung farbiger Strahlen weiter von der Doppellinse und da diese Weiterrückung bei stärker brechenden Strahlen mehr als bei schwächer brechenden beträgt, bei den violetten also am größten und bei den roten am kleinsten ist, so läßt sich den beiden eine solche Krümmung geben, daß die Vereinigungspunkte in denselben Punkt w fallen und hier also weißes Licht entsteht.

Figur 95.



Achromasie — Achromatische Fernröhre — Dollond (1757), Frauenhofer (1810). Linsen mit eingeschlossener Flüssigkeit, z. B. Schwefelkohlenstoff. Blair und Barlow. Eine aplanatische Linse besteht aus zwei Linsen von solcher Krümmung, daß nicht nur die Farbenzerstreuung, sondern auch die sogenannte Abweichung wegen der Kugelgestalt beseitigt wird.

4) Von der Interferenz, Beugung, Polarisation und doppelten Brechung des Lichtes.

171. 1) Interferenz des Lichtes bezeichnet das Zusammentreffen von Lichtstrahlen, die sich in ihren Wirkungen nach Umständen verstärken oder schwächen oder auch ganz vernichten. Licht, mit Licht zusammenkommend, erzeugt zuweilen größere Helligkeit, zuweilen aber

auch völlige Dunkelheit. Zwei Lichtstrahlen aus derselben Lichtquelle so kommend, daß sie sich einander, fast parallel, unter einem sehr kleinen Winkel durchschneiden, bringen in gewissen Fällen diese Erscheinungen hervor. Leitet man nach Grimaldi (1665) in das dunkle Zimmer durch zwei neben einander liegende kleine runde Öffnungen Sonnenstrahlen, so entstehen auf einem zweckmäßig aufgestellten weißen Schirme zwei runde Sonnenbilder. Durch Verschiebung des Schirmes ist leicht diejenige Stelle zu finden, wo diese zwei Bilder teilweise auf einander fallen. Der gemeinschaftliche Teil dieser Bilder ist zwar heller, als die nicht gemeinschaftlichen Teile, aber an den Rändern des helleren Teiles befinden sich abwechselnd dunklere und hellere Streifen, welche bei Schließung der einen Öffnung verschwinden. Die dunklen Stellen erhielten aber eben so das Licht durch beide Öffnungen wie die hellen. Ob eine Aufhebung oder Verstärkung der Erleuchtung stattfindet, hängt nach der Undulationstheorie ab von der Größe der Wege der Lichtstrahlen bis zum Zusammentreffen. Die Erleuchtung verschwindet, wenn sich die Wege um eine halbe Wellenlänge oder um das 3-, 5-, 7- 2c. fache derselben unterscheiden; sie wird aber erhöht, wenn die Wege ganz gleich sind, oder sich um das 2-, 4-, 6- 2c. fache der halben Wellenlänge oder um das 1-, 2-, 3-, 4- 2c. fache der ganzen Wellenlänge unterscheiden, weil dort die verdichteten Wellenteile mit den verdünnten zusammenfallen, hier aber die verdichteten mit den verdichteten, so wie die verdünnten mit den verdünnten, ganz übereinstimmend mit den ähnlichen Erscheinungen bei den Wasser- und Schallwellen. (§ 144.) Die Wellenlänge ist für die verschiedenfarbigen Strahlen verschieden, doch unwandelbar dieselbe für die gleichfarbigen.

Grimaldi, Young (1800), Fresnel (1815), Frauenhofer, Schwerdt — Interferenzprisma. Der zuerst von Young gebrauchte Ausdruck kommt aus dem Englischen: to interfere, dazwischen treten. — Newton'sche Farbenringe. — Die Farben dünner, durchsichtiger Blättchen, der Seifenblasen 2c. entstehen durch die Interferenz der von der Vorder- und Hinterfläche der dünnen Schicht zurückgeworfenen Lichtwellen. — Nach der Emissionstheorie sind die Interferenz-Erscheinungen gar nicht zu erklären, da, wenn Licht eine Materie wäre, unmöglich Dunkelheit entstehen könnte, indem Licht zu Licht kommt. — Newton legte ein Konvexglas von 15,5 m Krümmungshalbmesser auf eine ebene Glasscheibe und beobachtete, daß wenn man die Linse mehr oder weniger stark andrückte, sich um den schwarzen Berührungspunkt kreisfömige Ringe zeigten: blau, weiß, gelb, rot, — violett, blau, grün, gelb, rot — grünlichblau, blaßrot — grünlichblau, rötlichweiß. Im durchgelassenen Licht aber erscheint der dunkle Fleck: hell, und die Ringe in ihren Complementärfarben. Betrachtet man die Erscheinung im einfachen, z. B. roten Licht, so erscheinen die Ringe hell und dunkel, an Breite und Helligkeit abnehmend, bis sie ganz verschwinden.

2) Beugung des Lichtes (Inflexion, Diffraktion, Grimaldi 1665) bezeichnet die Ablenkung der Lichtstrahlen von ihrem geraden Wege beim Vorübergehen an dunklen festen Körpern, daher auch beim Durchgange durch sehr kleine runde oder sehr schmale längliche Öffnungen an deren Rändern, wodurch nicht nur Lichtstrahlen in den Schattenraum gelangen, sondern auch wegen ungleich starker Beugung farbiger

Strahlen am Schatten Farbenränder, so wie in demselben farbige Streifen entstehen. Die Beugung des Lichtes ist auf das Gesetz der Interferenz zurückführbar.

Eine schwarze Kugel, in die Sonne gehangen, zeigt innerhalb des Schattenkegels Erleuchtung. — Ein schmaler Körper (Messerklinge) vor einer etwas weniger breiten Flamme so gehalten, daß diese bedeckt wird, und nur mit einem Auge angesehen, zeigt an den Rändern lichte Streifen, deren Helligkeit mit der abnehmenden Breite des Körpers zunimmt; es kommen also in das Auge, welches sich mitten im Schatten befindet, Lichtstrahlen durch die Beugung. — Sehr interessant sind Beugungsversuche im dunklen Zimmer. Zwei Metallplatten, die in Schärfen ausgehen und einander nach Belieben parallel oder sehr geneigt gegen einander genähert werden können, bewirken, wenn Licht durch den schmalen Streifen geht, auf einem weißen Schirme oder einer mattgeschliffenen Glastafel einen hellen Streifen mit regenbogenfarbigen Rändern zu beiden Seiten, in denen dem Schatten am nächsten sich Violett, am entferntesten aber Rot befindet. Der Schatten sehr schmaler Körper hat nicht nur farbige Ränder, sondern auch im Innern dunkle und farbige Streifen. — Eben so merkwürdig ist die Beugung des Lichtes bei neben einander liegenden Zwischenräumen. Wird bei fast geschlossenem Auge durch die einander genäherten Augenwimpern oder durch den Bart einer Feder, durch die Haare eines Hutes eine Lichtflamme angesehen, so zeigt sich zu beiden Seiten der Flamme ein farbiges Bild derselben, weiter aber farbige Bilder, bei denen immer das Violett der Lichtflamme zugekehrt ist. Eine gleiche Erscheinung giebt es, wenn durch ein Florband gesehen wird, so wie nach Frauenhofer Glasgitter, d. i. Glas, auf welches sehr nahe liegende parallele Linien mittelst eines Diamanten eingeritzt, oder, wenn dasselbe zuerst mit Gold belegt wurde, mittelst einer Nadel einradiert wurden, förmliche Schweife von Farbenbildern zeigen. — Auch bei der Zurückwerfung des Lichtes zeigen sich solche Farbenerscheinungen, z. B. an Haaren, Spinnweben, an Spiegeln, in welchen kleine parallele Linien eingeritzt werden, so wie an der Perlmutter, deren Oberfläche mit sehr vielen außerordentlich feinen Furchen durchzogen ist. — Der Jesuit Grimaldi hat 1665 zuerst die Beugung beobachtet.

Aus der genauen Messung der Beugungserscheinungen glaubt man die Längen der Lichtwellen für die verschiedenfarbigen Strahlen ungefähr so angeben zu können:

Mittleres Rot	0,0006486 mm,	Blau	0,0004394 mm,
Orange .	0,0005675 . .	Indigo	0,0004080 . .
Gelb . . .	0,0005257 . .	Violett	0,0003792 . .
Grün . . .	0,0004812 . .		

woraus sich auch die Zahl der Schwingungen in der Sekunde bestimmen läßt, da man weiß, daß bei jeder Schwingung der Lichtstrahl um eine Wellenlänge fortschreitet und daß die Geschwindigkeit des Lichtes etwa 42000 Meilen beträgt. In diesen für alle Lichtstrahlen ohne Unterschied unveränderlich geltenden Weg in einer Sekunde braucht man nur mit der betreffenden Wellenlänge zu dividieren, um die Zahl der Schwingungen in der Sekunde zu erhalten (vergl. § 144, 4); so erhält man für das rote Licht 485 und für das violette 831 Billionen Schwingungen in der Sekunde.

172. 1) Wenn ein Lichtstrahl auf eine unbelegte durchsichtige Tafel fällt, so teilt er sich in der Art, daß ein Teil durch die Tafel geht und nach gewöhnlichen Gesetzen gebrochen, der andere aber von ihr ebenfalls nach gewöhnlichen Gesetzen zurückgeworfen wird. Wird aber nun sowohl der gebrochene als zurückgeworfene Strahl durch eine zweite der ersten parallele Tafel aufgefangen, so wird er von dieser nicht mehr in allen ihren Lagen unverändert zurückgeworfen, wie es

sein müßte, wenn er noch ein gewöhnlicher Lichtstrahl wäre, sondern er wird nur in gewissen Lagen derselben, und zwar mit verschiedener Stärke zurückgeworfen, in gewissen anderen dagegen gar nicht. Beim Glase ist die Wirkung am stärksten, wenn der ursprüngliche Lichtstrahl gegen das Glas unter einem Winkel von 35° 25′, also gegen das Einfallslot unter 54° 35′ auffällt, beim Wasser bei 37° 15′, bei einer Diamantfläche bei 22°. Diese Veränderung in dem Verhalten des Lichtes heißt Polarisation des Lichtes (Polarisierung durch Zurückstrahlung, Polarisierung durch Brechung), und das Licht selbst, welches sie erleidet, polarisiertes Licht, so wie der Winkel, unter dem das Licht auffallen muß, damit die Erscheinung am stärksten hervortrete, der Polarisationswinkel. — Malus, Paris 1808.

2) Fällt von irgend einem leuchtenden oder beleuchteten Gegenstande, z. B. von einer Lichtflamme oder auch nur von dem von den Wolken reflektierten Tageslichte ein Lichtstrahl auf eine Platte von Spiegelglas — Polarisationsspiegel —, deren Hinterseite geschwärzt ist, damit sie nicht abspiegele, unter dem Polarisationswinkel von 35° 25′, so wird er nach dem katoptrischen Gesetze auch unter diesem Winkel zurückgeworfen, trifft eine zweite Spiegelplatte — Zerlegungsspiegel —, die zur ersteren parallel gestellt ist, nach geometrischen Gründen abermals unter demselben Winkel, und muß mithin auch von ihr unter 35° 25′ zurückgeworfen werden. Wird nun der Zerlegungsspiegel um den auffallenden Strahl, indem der Strahl mit der Spiegelfläche unverändert einen Winkel von 35° 25′ bildet, gedreht, so bemerkt man an dem von ihm bewirkten Bilde der Lichtflamme, oder an seinem Gesichtsfelde überhaupt eine regelmäßig wiederkehrende Abnahme und Zunahme der Lichtintensität — und zwar zeigt sich während einer ganzen Umdrehung zuerst eine Abnahme der Lichtstärke von der ursprünglichen Helligkeit bis zum Verschwinden derselben, dann eine Zunahme bis zur ursprünglichen Helligkeit, dann wieder eine Abnahme und endlich wieder eine Zunahme in der früheren Art, was nur eine Folge davon sein kann, daß, indem der zurückgeworfene Teil des polarisierten Strahles größer, der durchgelassene kleiner wird, und umgekehrt; oder darin, daß der Strahl die eine oder die entgegengesetzte Seite dem Spiegel zuwendet. Das Maximum der Helligkeit in Folge der vollständigsten Zurückwerfung und der schwächsten Durchlassung des polarisierten Lichtstrahles zeigt sich außer bei der parallelen Lage der beiden Spiegel nach einer Drehung des Zerlegungsspiegels von 180° — also bei 0° und 180° — oder da, wo die Reflexionsebenen beider Spiegel zusammenfallen; das Minimum der Helligkeit oder das Maximum der Dunkelheit oder das Verschwinden des Bildes infolge der schwächsten Zurückwerfung und der vollständigen Durchlassung sieht man dagegen nach den Drehungen von 90° und 270°, oder da, wo die beiden Reflexionsebenen sich rechtwinklig kreuzen. Der gebrochene Teil des auffallenden Strahles zeigt, von einer zweiten Tafel aufgefangen, ähnliche Erscheinungen bei der Zurück-

werfung, nur daß die Maxima und Minima gerade in den entgegengesetzten Lagen erscheinen.

Unter der Polarisationsebene versteht man diejenige Ebene, welche durch den polarisierten Lichtstrahl in derjenigen Richtung, in welcher er am vollständigsten zurückgeworfen wird, gelegt gedacht wird. Die Polarisationsebenen des durch Reflexion und des durch Refraktion polarisierten Lichtstrahles stehen also, da jene durch 0° und 180°, diese durch 90° und 270° der Kreisteilung geht, auf einander senkrecht.

Das Polarisations-Instrument von Nörrenberg enthält auf dem Boden des Gestelles einen gewöhnlichen Glasspiegel, darüber den Polarisationsspiegel aus geschliffenem Spiegelglase, um eine horizontale Achse drehbar, und noch höher über demselben den auf der einen Seite geschwärzten Zerlegungsspiegel, ebenfalls um eine horizontale Achse drehbar, welche in Säulchen ruht, die sich in horizontaler Ebene drehen lassen. Zwischen dem Polarisations- und Zerlegungsspiegel befindet sich noch ein Ring, in welchen eine Glastafel paßt, auf welche diejenigen durchsichtigen Körper gelegt werden, durch welche das polarisierte Licht durchgeleitet werden soll, und deshalb Tischchen heißt. Werden die beiden Spiegel unter 35° 25′ zur Vertikale und unter einander parallel gestellt, so wird von jedem auf den Polarisationsspiegel auffallenden Strahl ein Teil senkrecht auf den unteren gewöhnlichen Glasspiegel reflektiert und von diesem senkrecht herauf nach dem Zerlegungsspiegel, dem durch Drehung der oberen Säulchen die verschiedenen Lagen gegeben werden können.

Wird durch ein Turmalinplättchen, welches aus einem Turmalinkrystalle so geschnitten ist, daß seine Hauptflächen mit der Achse der Säule parallel sind, eine polierte Tischfläche, welche das Tageslicht unter 30—40° nach dem Auge wirft, betrachtet, so erscheint die Tischfläche bei der Drehung der Turmalinplatte abwechselnd hell und dunkel; Tischfläche und Turmalinplatte stellen also einen Polarisationsapparat vor und es läßt sich mithin auch die Turmalinplatte statt des Zerlegungsspiegels beim Polarisationsinstrument gebrauchen. Wie die Tischfläche polarisieren alle spiegelnden Flächen, mit Ausnahme der metallischen, das Licht.

Fällt gewöhnliches Licht senkrecht auf eine solche Turmalinplatte, deren Flächen parallel zur Hauptachse des Krystalles sind, so zeigt es sich nach seinem Durchgange auch polarisiert; denn eine zweite Turmalinplatte auf diese gelegt und während des Durchsehens gedreht, zeigt den Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit, je nachdem die Achsen der Platten einander parallel sind oder sich kreuzen. Zwei solche Turmalinplatten sind in der sogenannten Turmalinzange vereinigt, welche also als ein kleiner Polarisationsapparat, auf der Polarisation durch Brechung beruhend, zu betrachten ist.

173. 1) Im Doppelspat (isländischen Spat, krystallisierten Kalkspat, krystallisierten kohlensauren Kalk) und in mehreren anderen Krystallen findet unter gewissen Umständen eine doppelte Strahlenbrechung statt. (Erasmus Bartholinus 1669). Man nimmt an, daß jeder durch einen solchen Körper gehende Strahl gleichsam in zwei Teile gespalten werde, von denen der eine, der stärker gebrochene, nach gewöhnlichen, der andere aber, der schwächer gebrochene, nach ungewöhnlichen Gesetzen gebrochen wird, beide aber, aus dem Krystalle parallel heraustretend, ins Auge gelangen, und einen Lichtpunkt, ein Objekt doppelt erscheinen lassen. Der Doppelspat kommt als Rhomboeder krystallisiert vor, begrenzt von sechs Rhomben, von denen je

zwei einander parallel sind, und in denen jeder spitze Winkel 78° 5', jeder stumpfe dagegen 101° 55' beträgt. Unter seinen acht dreikantigen Ecken giebt es zwei einander gegenüberliegende, von denen jede von Winkeln zu 101° 55' begrenzt wird, während die übrigen sechs immer zwei spitze und einen stumpfen Winkel haben. Die gerade Linie, welche diese beiden stumpfen Ecken verbindet, heißt die Brechungs- oder Hauptachse, auch optische Achse, und die durch sie gelegte auf zwei begrenzenden Rhomben senkrecht stehende Ebene der Hauptschnitt des Krystalls. Unter brechenden Flächen versteht man hier, wie beim Glasprisma, die zwei Flächen, durch deren eine ein Strahl in den Krystall, und durch deren andere er aus demselben tritt. Man hat für den Fall, daß sich das Auge senkrecht über dem Objekte befindet, folgendes Gesetz gefunden: Eine Zerspaltung des durch den Krystall gehenden Strahles oder eine doppelte Strahlenbrechung giebt es nur dann, wenn die Brechungsachse mit den brechenden Flächen, also auch die Brechungsachse mit dem einfallenden Strahle, einen schiefen Winkel bildet, nie aber, wenn die Brechungsachse mit den brechenden Flächen parallel, also der einfallende Strahl auf der Brechungsachse senkrecht, oder wenn die Brechungsachse auf den brechenden Flächen senkrecht, also die Brechungsachse mit dem einfallenden Strahle parallel ist. Sobald in den beiden letzten Fällen, zu denen die Krystalle erst künstlich geschnitten werden müssen, das Auge nicht senkrecht über dem Objekte liegt, sondern seitwärts von demselben, so werden auch zwei Bilder sichtbar, weil dann der einfallende Strahl weder auf der Brechungsachse senkrecht, noch ihr parallel ist.

Die beiden Bilder, welche man durch ein Kalkspatprisma sieht, beruhen auf polarisiertem Lichte, denn durch eine in Drehung gesetzte Turmalinplatte betrachtet, verschwinden und erscheinen sie und zwar abwechselnd, was ein Beweis ist, daß ihre Polarisationsebenen sich senkrecht schneiden.

Versuch mit einem Kalkspatkrystalle, welche über einen mit Tinte auf ein Blatt Papier gemachten Punkt oder über eine gezogene Linie gelegt und gedreht wird. Verhalten des Lichtstrahles, wenn mehrere Rhomboeder über einander gelegt werden. — Krystalle mit zwei Achsen doppelter Brechung. — Auch der Bergkrystall, Saphir, Rubin, Turmalin, Smaragd ꝛc. sind einachsige doppeltbrechende Krystalle, so wie Gips, Glimmer, Salpeter, Topas, Aragonit ꝛc. zweiachsige. Cirkulare und elliptische Polarisation.

Durch Nicol's Prisma, welches aus zwei dreiseitigen Kalkspatprismen, die aus einem gewöhnlichen Kalkspatrhomboeder geschnitten und durch Kanadabalsam an einander gekittet worden sind, besteht, sieht man die Gegenstände nur einfach, weil durch dasselbe nur der unregelmäßig gebrochene Strahl hindurchgeht, während der regelmäßig gebrochene von der Kanadabalsamschichte zurückgeworfen wird. Durch dieses Doppelprisma läßt sich auch leicht bestimmen, ob das von einem Körper kommende Licht polarisiert ist oder nicht, da man in dem ersten Falle bei einer ganzen Umdrehung des Prismas in der Intensität des Lichtes zwei Maxima und zwei Minima bemerkt, im zweiten aber sich die Intensität gleich bleibt; daher kann es beim Polarisationsapparat auch statt des Zerlegungsspiegels, wie die Turmalinplatte, gebraucht werden, und hat vor dieser den Vorzug, daß es klarere Bilder giebt.

2) Depolarisiert kann ein durch Reflexion polarisierter Strahl werden, d. h. einem polarisierten Strahl kann die Fähigkeit, vom zweiten Spiegel auch in den Lagen desselben, wo sonst keine Zurückwerfung stattfindet, doch zurückgeworfen zu werden, wieder gegeben werden, wenigstens für einige Farbenstrahlen, durch auf das Tischchen des Polarisations-Instrumentes gelegte Gips- oder Glimmerplättchen oder auch andere dünne doppeltbrechende Körper, welche senkrecht auf die Achse geschnitten sind. Die Glimmer- und Gipsplättchen erscheinen im Zerlegungsspiegel farbig. Die Farben, welche sie bei der Lage des Zerlegungsspiegels bei 0° oder 180° und eben so bei 90° oder 270° zeigen, verschwinden bei einer Drehung von 45° und verwandeln sich bei der nächsten Drehung von 45° in die komplementären. Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man sich statt des Zerlegungsspiegels eines Nicol'schen Prismas bedient. Nimmt man statt dieser Plättchen schnell gekühlte und stark gepreßte Gläser in der Form von Kreisen, Quadraten, Dreiecken, oder zwei kreuzweise über einander gelegte parallelepipedische Glasstücke, so zeigen sich, wenn man sie auf das Tischchen oder auf den untersten Spiegel im Fuße des Gestelles legt, die mannigfaltigsten farbigen Figuren, wie farbige konzentrische Bogen, Kreise, blaue und gelbe Tupfen, ein schwarzes Kreuz, ein weißes Kreuz u. s. w., die verschieden sind und ihre komplementären Farben wechseln, je nachdem die beiden Reflexionsebenen zusammenfallen oder sich rechtwinklig kreuzen. Auch hier wirkt das vor dem Auge gedrehte Nicol'sche Prisma auf dieselbe Art wie der Zerlegungsspiegel. Je zwei zusammengehörende Figuren sieht man bei langsamer Drehung des Zerlegungsspiegels oder des Nicol'schen Prismas in einander übergehen. Wendet man ein mittelst Glasprismen achromatisiertes Kalkspatprisma an, so erscheinen immer zwei Bilder mit den komplementären Farben, die bei der Drehung desselben ihre Farben umtauschen.

Wird ein senkrecht zur Achse geschnittenes Bergkrystallplättchen auf das Tischchen des Polarisationsapparates gelegt, so erscheint es im Zerlegungsspiegel lebhaft gefärbt, wobei die Farbe nach der Lage dieses Spiegels sich ändert. Die Platte erscheint aber nie farblos hell oder ganz dunkel wie etwa ein Gipsplättchen. Wenn man, um einfarbiges Licht anzuwenden, durch rotes Glas sieht, erscheint das Quarzplättchen bei gekreuzten Spiegeln nicht dunkel, sondern hell; wird aber der Zerlegungsspiegel aus dieser Lage rechts oder links gedreht, so tritt bei einem gewissen von der Dicke des Quarzplättchens abhängenden Winkel die Dunkelheit ein, die sonst bei der Nichtanwendung des Plättchens bei den gekreuzten Spiegeln stattfindet. Man sagt, der Quarz bewirke eine Drehung der Polarisationsebene und die so veränderte Polarisation heißt Cirkularpolarisation. Wenn dabei der Drehungswinkel auch im allgemeinen im Verhältnisse der Dicke des Quarzplättchens steht, so ist er doch für die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen bei unveränderter Dicke des Plättchens verschieden groß, z. B. bei ein Millimeter Dicke für rote Strahlen 19°, für gelbe 23°, für grüne 28°, für

blaue 32°, für violette 41°; woraus auch notwendig folgt, daß, wenn weißes Licht angewendet wird, das Quarzplättchen bei keiner Lage des Zerlegungsspiegels weder farblos hell, noch ganz dunkel erscheint. Außer beim Bergkrystall ist eine Cirkularpolarisation bei einigen Flüssigkeiten, die bei den Versuchen in Glasröhren auf das Tischchen gebracht werden, beobachtet worden; so ist z. B. Zuckersirup eine rechtsdrehende, Terpentinöl eine linksdrehende Flüssigkeit.

Die Anwendung der Cirkularpolarisation zur Bestimmung des Zuckergehalts in einer Zuckerlösung gründet sich auf die Erfahrung, daß eine Zuckerlösung desto stärker die Polarisationsebene dreht, je konzentrierter sie ist. Saccharometer.

5) Von den Lichtmeteoren.

174. Es giebt außer den in diesem Abschnitte schon gelegentlich angeführten Lufterscheinungen noch viele andere, welche auf der Zurückwerfung, Beugung, Interferenz, Brechung und der damit verbundenen Farbenzerstreuung beruhen, und von denen wir hier die vorzüglichsten, mit einigen erklärenden Worten begleitet, herausheben wollen. Man nennt sie vorzugsweise die Lichtmeteore der Atmosphäre.

1) Daß die Tageshelle nicht blos durch das unmittelbar zu uns gelangende und durch das von den irdischen Körpern zurückgeworfene, sondern auch durch das von der atmosphärischen Luft und den in ihr schwebenden Wolken zurückgeworfene Sonnenlicht bewirkt wird, geht daraus hervor, daß Orte, die im Schatten liegen, nicht ganz finster sind.

2) Morgendämmerung heißt die Helligkeit vor Sonnenaufgang, Abenddämmerung dagegen die Helligkeit nach Sonnenuntergang; jene beginnt und diese schließt den Tag. Sie beruhen beide auf der Zurückwerfung des Sonnenlichtes durch die höheren Luftschichten. Ehe noch die Sonne aufgeht und ihr Licht unmittelbar zu uns gelangen kann, beleuchtet sie schon von einer gewissen Tiefe unter dem Horizonte an die höheren Luftschichten und die in ihr schwebenden Dünste und Wolken unseres östlichen Horizontes, und diese werfen uns einen Teil des erhaltenen Lichtes zurück; dasselbe findet statt, wenn die Sonne bereits untergegangen ist, wo sie dann bis zu derselben Tiefe ihres Standes die höheren westlichen Luftschichten erleuchtet. Die Dämmerung beginnt oder endet, wenn sich die Sonne 18° unter dem Horizonte befindet. Ihre Dauer hängt von der geographischen Breite des Ortes und von der Jahreszeit ab; sie nimmt vom Äquator nach den Polen zu und ist im März und Oktober am kürzesten, im Juni und Juli am längsten. Morgen- und Abenddämmerung verkürzen die Nacht, verlängern also den Tag und bewirken einen allmählichen, unseren Augen wohlthuenden Übergang von der Dunkelheit zur Helligkeit und von dieser zu jener.

Astronomische und bürgerliche Dämmerungszeit.

3) Die Bläue des Himmels wird nach Tyndall durch Einwirkung der allerkleinsten Wasser- und auch wohl Staubteilchen auf das Sonnenlicht erklärt. Bei verhältnismäßig reiner Luft befinden sich in derselben nur Wasserteilchen von solcher Kleinheit, daß sie die Lichtstrahlen von der Wellenlänge des Rot, Orange, Gelb, Grün nicht mehr zu reflektieren vermögen, doch groß genug, um noch die übrigen reflektieren zu können, unter denen das blaue Licht seiner Intensität wegen hauptsächlich in Betracht kommt. Werden die reflektierenden Teilchen größer, so treten die Lichtfarben des Spektrums in der Reihenfolge ihrer Wellenlänge, also Grün, Gelb, Orange, Rot hinzu, wodurch schließlich das weiße Licht der von der Sonne beleuchteten Wolkenteile entsteht. Das Wassergas oder der durchsichtige Wasserdampf erhöht; die Dünste aber, das in Wasser übergehende Wassergas, wie es die Nebel und die Wolken enthalten, vermindern die Durchsichtigkeit der Luft, so wie die blaue Farbe des Himmels, welcher dann ein graues Aussehen annimmt; ein Beweis, daß die Wasserdünste viel unzersetztes Sonnenlicht zurückwerfen, daher sieht der Himmel zu Mittage und in der Nacht, besonders im Winter, dunkler als am Morgen und Abende aus, und daher erscheint der Himmel auf Bergen viel dunkler blau als in Thälern, so wie nach einem Regen schön blau. Wenn die Luft gar kein Licht reflektierte, müßte uns der Himmel schwarz erscheinen; daher auf hohen Bergen das Dunkelblaue des Himmels fast ins Schwarze übergeht. — Saussures Kyanometer.

4) Die Morgenröte und Abendröte, bekannte Erscheinungen beim Aufgange und Untergange der Sonne, hängen nach der älteren Ansicht mit der Bläue des Himmels genau zusammen; diese wird durch die zurückgeworfenen blauen, jene durch die durchgelassenen gelben und roten Lichtstrahlen des Sonnenlichtes in den unteren, dichteren und an Dünsten reicheren Luftschichten erklärt. Enthält die Atmosphäre wenige Dünste, so ist der Himmel am Tage schön blau, die Sonne geht rot unter und die Abendröte ist sehr schön; bei vielen Dünsten dagegen ist der Himmel weißlich, und die Sonne geht nur schwach gerötet, mehr weißgelblich unter. Eine andere Meinung ist die, daß diese Erscheinungen durch den in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfer zeugt werden. Nach Forbes hat dieser bei seinem allmählichen Übergange aus dem ganz durchsichtigen Zustande in den des weißen Nebels eine gewisse Zwischenstufe, auf welcher er den roten Strahlen vorzugsweise den Durchgang gestattet, wie man das an dem Dampfe eines Theekessels und an dem aus dem Sicherheitsventile einer Dampfmaschine aufsteigenden Dampfe, ganz nahe an diesem Ventile, sieht, durch welchen die hinter ihm stehende Sonne tief orangerot erscheint. — Bei Sonnenaufgang und Untergang haben die Sonnenstrahlen auch einen weit größeren Weg durch die Atmosphäre zu durchlaufen, was eine erheblich größere Wirkung jener Absorptionserscheinungen verursacht. Bei klarem Wetter läßt sich zur Zeit des Sonnenunter-

ganges nicht selten die Reihenfolge der Farben vom Blau bis Rot zwischen Zenith und Horizont am Abendhimmel erkennen.

5) Die Höfe, lichte, meist farbige Ringe um Sonne, Mond und größere Sterne, heißen kleinere Höfe oder Ringe schlechtweg, wenn ihre Durchmesser nur wenige Male den Durchmesser des von ihnen eingeschlossenen Himmelskörpers übertreffen; größere dagegen, wenn ihre Halbmesser 22 und noch mehr Himmelsgrade enthalten. Jene werden nach Frauenhofer durch Beugung des Lichtes beim Vorübergange desselben an den Rändern der in der Luft schwebenden Dunstkügelchen, diese dagegen vorzugsweise durch Brechung des Lichtes in sechs- und dreiseitigen Eisprismen, die in den hohen, kalten Regionen der Luft, selbst im Sommer, vorhanden sein können, hervorgebracht.

Die Heiligenscheine, lichte Scheine um den Schatten des Kopfes, wenn er auf Nebel fällt, können als Höfe betrachtet werden. Ein brennendes Licht oder auch der Mond, durch eine schwach angehauchte reine Glasscheibe angesehen, zeigt einen Hof; ein solcher Hof bildet sich auch um ein Licht, welches in einem dunstreichen Zimmer brennt, oder um eine Kerzenflamme, welche man durch eine mit semen lycopodii bestreute Glasscheibe betrachtet. Dort sollen also die Dunstbläschen, hier die kleinen Samenpartikelchen die Veranlassung der Erscheinung sein.

6) Mit den größeren Höfen kommen häufig vor die Nebensonnen und Nebenmonde, Bilder der Sonne und des Mondes am Himmel, gleich hoch zur Seite, genau über und unter, oder auch gerade gegenüber, von farbigen oder farbenlosen Kreisen, oft auch von einem Schweife begleitet. Huyghens sucht sie durch Brechung und Zurückwerfung des Lichtes in und von den in der Luft vorausgesetzten schwebenden Eisprismen, was Brandes durch Rechnung und Zeichnung weiter ausgeführt hat — Frauenhofer aber durch Beugung desselben an den Dunstkügelchen zu erklären.

Das römische Phänomen 1629 — das Hevel'sche Phänomen 1661. — Auch sieht man oft Sonnenbilder über dem Meerhorizonte, welche durch gewöhnliche Luftspiegelung entstanden sind.

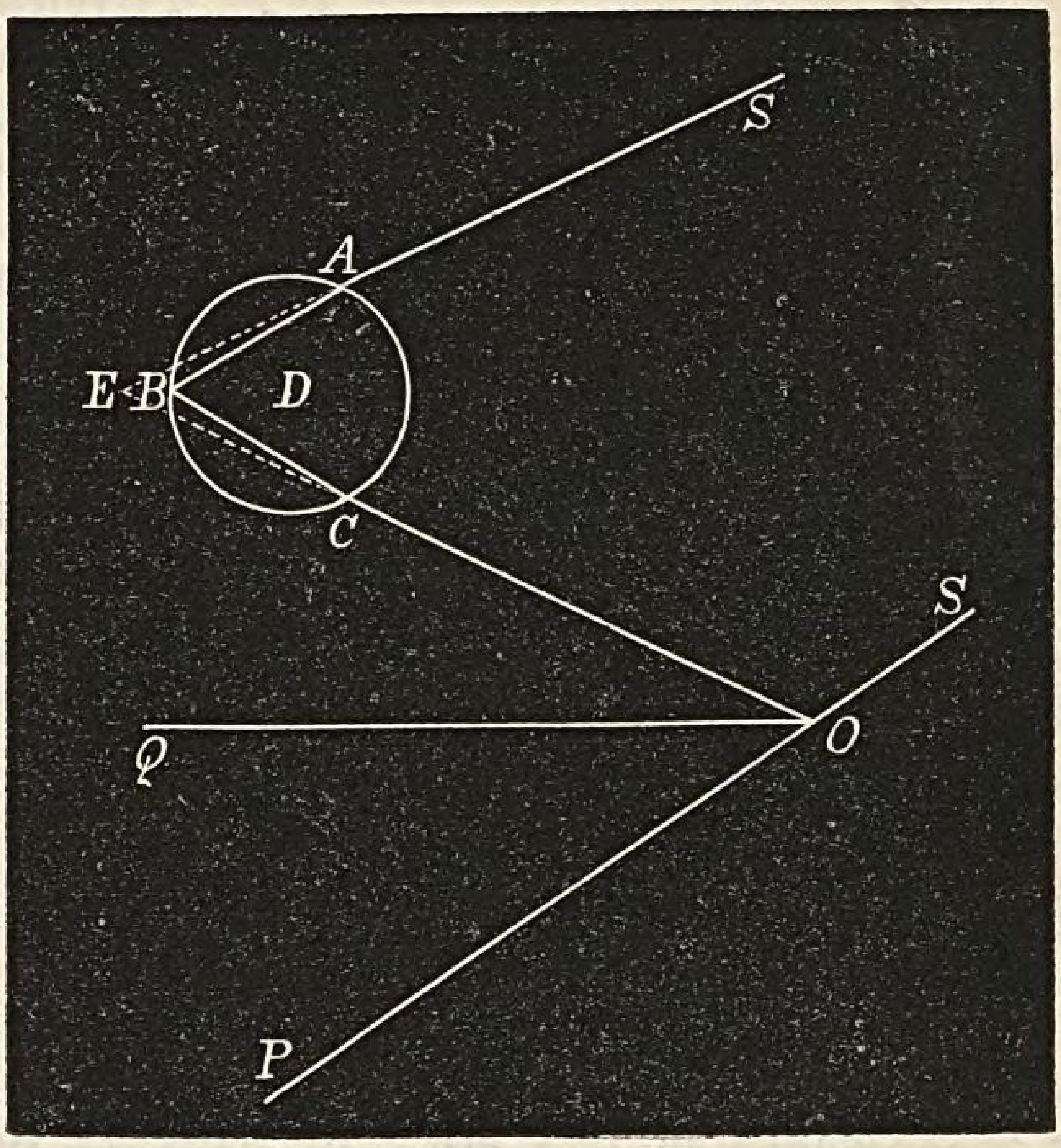
7) Der Regenbogen, wie bekannt, ein glänzender, mit den prismatischen Farben versehener, bogenförmiger, etwa zwei Grade breiter Streifen am Himmel, der nach innen violett, nach außen rot ist, entsteht nur, wenn die Sonne einer regnenden Wolke gegenüber steht. Bei der Höhe der Sonne mehr als 42° über dem Horizonte entsteht gar kein Regenbogen, daher wir zu Mittage selten einen sehen; je niedriger sie aber unter dieser Höhe steht, desto größer wird er und wächst zum Halbkreise an, wenn sie sich am Horizonte befindet, daher bei ihrem Auf- und Untergange die größten Regenbogen gesehen werden; bei Wasserfällen und von den Masten der Schiffe sieht man oft ganze kreisförmige Regenbogen. Der Regenbogen ist immer ein Teil eines Kreises, dessen Mittelpunkt in der durch die Sonne und das Auge des Beobachters gezogenen geraden Linie liegt. Oft zeigt sich auch über diesem Regenbogen ein zweiter, dessen Farben schwächer sind und in

umgekehrter Ordnung liegen. Jenen, den Hauptregenbogen, erklärt man durch zweimalige Brechung und einmalige Zurückwerfung; diesen, den Nebenregenbogen, der etwa 10 Grade über dem Hauptregenbogen liegt, durch zweimalige Zurückwerfung und zweimalige Brechung der Lichtstrahlen in den fallenden Regentropfen. Wiewohl jeder Tropfen zur Erscheinung des Regenbogens nur einen Augenblick mitwirkt, so wird er doch sogleich durch einen anderen ersetzt; daher muß der Regenbogen so lange dauern, als die Wolke regnet und die Sonne die erforderliche Höhe hat. Übrigens sieht jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen.

Wetter- oder Wassergallen — Mondregenbogen.

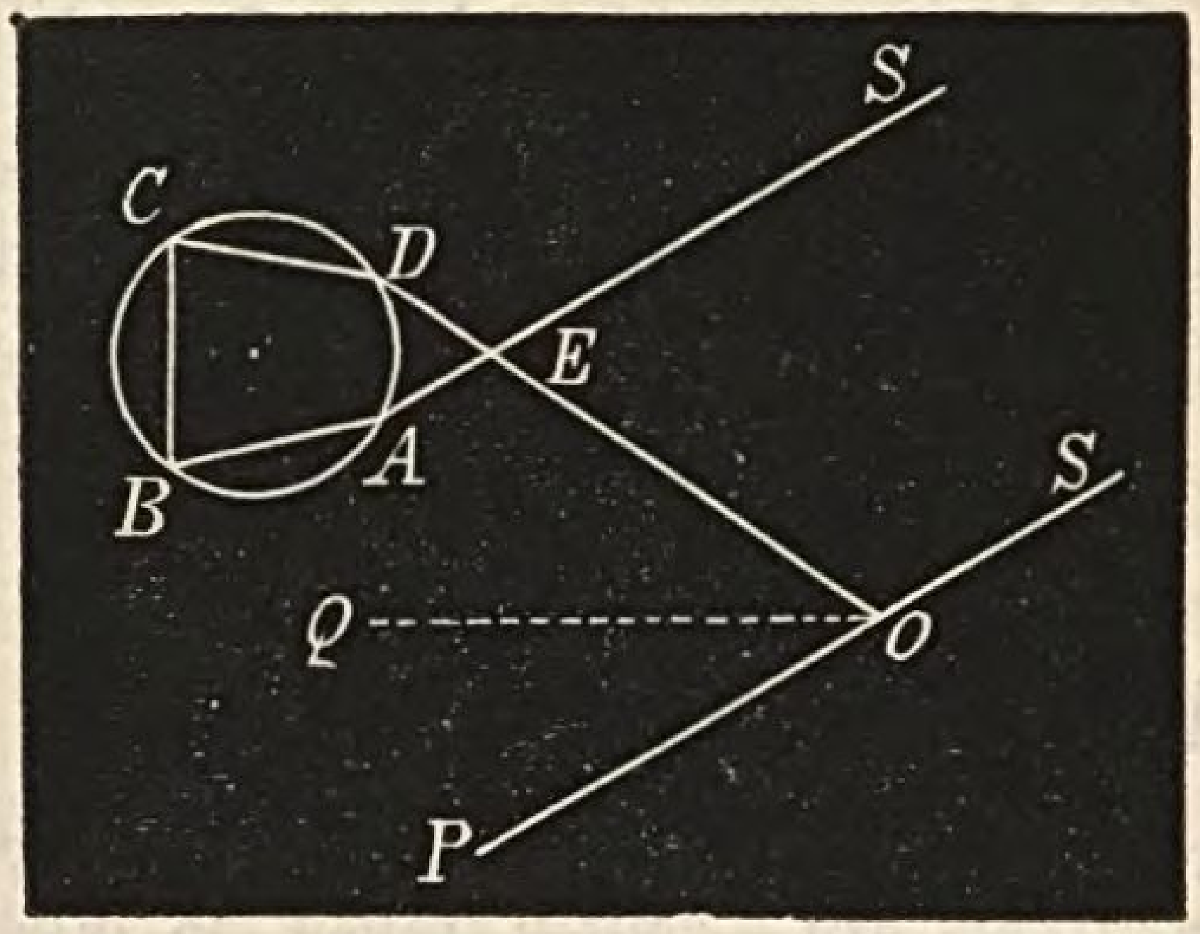
Zur Theorie des Regenbogens folgende Andeutungen: Ist in Figur 96 S die Sonne, S A einer der vielen Sonnenstrahlen, die den Tropfen treffen, so wird ein Teil desselben in A von der Oberfläche zurückgeworfen, der andere aber dringt hinein, erleidet in A eine Brechung zum Einfallslote A D, in B angelangt, geht ein Teil durch, der andere wird nach C zurückgeworfen, wo er beim Austritte in die Luft eine Brechung vom Einfallslote D C ab erleidet und dann nach O gelangt. Ist nun in O ein Auge, so kann es nicht von weißem, sondern wegen der Brechung von farbigem Lichte getroffen werden. Hat es eine solche Lage, daß es von dem brechbarsten blauen Lichte getroffen wird, dann gehen die anderen farbigen Strahlen unter O unwirksam hinweg, während aus einem höher liegenden Tropfen das Auge anders farbige Strahlen z. B. die grünen Strahlen, erhalten kann, indem die stärker gebrochenen violetten, indigo und blauen Strahlen darüber, die weniger gebrochenen gelben, orangen und roten darunter unwirksam weggehen. Es kann ein Tropfen auch die Höhe haben, daß er dem Auge nur die am wenigsten gebrochenen roten Lichtstrahlen zusendet, indem alle anders farbigen darüber weggehen. Dieses durch die Zurückwerfung und Brechung sehr geschwächte Licht würde auf das Auge einen sehr schwachen Eindruck machen und den Regenbogen nicht hervorbringen können, wenn es nicht bei jedem Tropfen in seiner oberen Hälfte eine Stelle von einigen Graden gäbe, wo alle parallel auffallenden Strahlen auch aus dem Tropfen fast parallel herausfahren und trotz der Schwächung vereint eine verstärkte Wirkung auf das Auge hervorbringen. Auf diese Weise kann das Auge aus einer Reihe übereinanderliegender Tropfen alle prismatischen Farben erhalten, deren äußerste nach unten violett, nach oben aber rot ist; da aber bei jeder anderen, von jener ersten Reihe zur Seite sich befindenden Reihe von übereinanderliegenden Tropfen, bei denen die einfallenden Strahlen mit den zurückgeworfenen eben so große Winkel bilden, sich diese Erscheinung zeigen muß, so erblickt man am Himmel einen farbigen Bogen. Die noch höher gelegenen Tropfen bewirken den Nebenregenbogen; die Strahlen müssen hier den in Figur 97 angegebenen Gang nehmen; sie erleiden

Figur 96.



nämlich in A eine Brechung, in B darauf ein Zurückwerfung, in C wieder eine Zurückwerfung, in D endlich eine zweite Brechung. Hat der Tropfen eine solche Höhe, daß die am wenigsten gebrochenen roten Strahlen das Auge treffen, so wird dieses von den darüber sich befindenden nach der Reihe, die orangen, gelben, grünen, blauen, indigo, violetten erhalten — und auf diese Weise einen zweiten Regenbogen, dessen Farben aber in Vergleich mit dem ersten in umgekehrter Ordnung liegen und in Folge der zweimaligen Zurückwerfung blässer sind, sehen.

Figur 97.



Ist SP der durchs Auge gedachte Sonnenstrahl, der mit allen auf die Regentropfen fallenden Strahlen wegen der außerordentlich großen Entfernung der Sonne als parallel betrachtet wird, so ist, wie die Mathematik beweist, ∠ SEO = ∠ EOP,

beim Hauptregenbogen für die violetten Strahlen		40^0	16′
„ „ roten	„	42^0	2′
beim Nebenregenbogen für die roten	„	50^0	59′
„ „ violetten	„	54^0	9′

Da nun die Größe dieser Winkel eine unveränderliche ist, der Mittelpunkt des Farbenkreises immer nach P fällt, d. h. nach dem der Sonne diametral entgegengesetzten Punkte, oder dahin, wohin der Schatten des Kopfes des Beobachters fällt, so kann man sagen, daß der Hauptregenbogen 42^0 2′, fast = 42^0, von diesem Mittelpunkte anfange. Ist OQ die horizontale Linie durchs Auge oder der Horizont, so ist einleuchtend, daß dieser Mittelpunkt immer so tief unter dem Horizonte liegt, als hoch die Sonne über dem Horizonte steht. Je höher also die Sonne steht, desto tiefer liegt des Farbenkreises Mittelpunkt unter dem Horizonte; desto kleiner wird der sichtbare Regenbogen sein, indem ∠ EOQ immer kleiner, ∠ QOP immer größer wird; bei einer Sonnenhöhe von 42^0 muß er ganz verschwinden, indem ∠ EOQ = 0, ∠ QOP = 42^0 wird, beim Aufgange und Untergange der Sonne sich aber als Halbkreis zeigen, wo ∠ EOQ = 42^0, ∠ QOP = 0^0, also der auffallende Strahl parallel mit dem Horizonte ist.

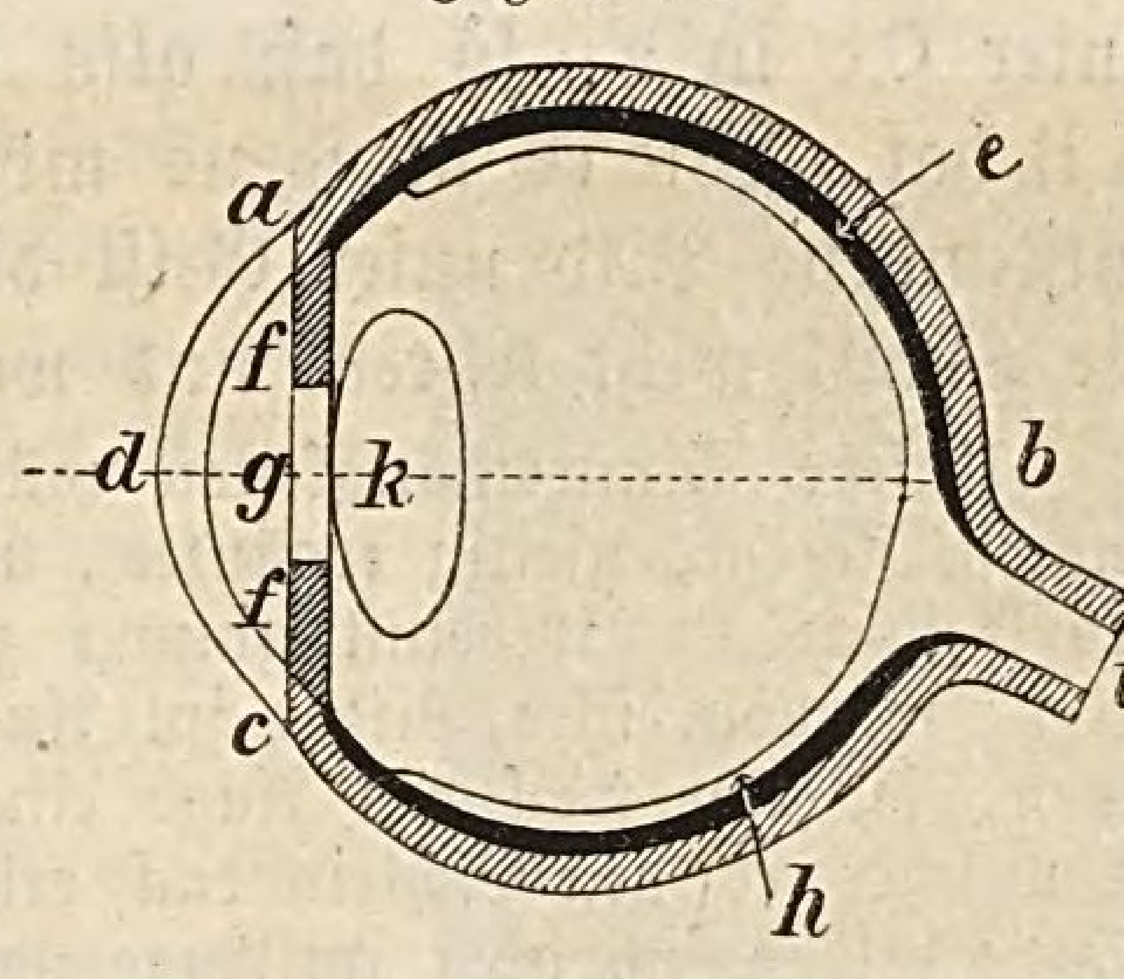
Das Zodiakallicht, Tierkreislicht, ist ein heller Streifen am Himmel nach Sonnenuntergang in Westen, zur Zeit der Frühlings-Nachtgleiche, oder vor Sonnenaufgang in Osten, zur Zeit der Herbst-Nachtgleiche, welcher in den heißen, wohl auch in den gemäßigten Zonen sichtbar ist, indem er sich in der Richtung des Tierkreises hoch über den Horizont, an Breite abnehmend (unten 8 bis 10^0, oben 4^0) erhebt. Man weiß das Zodiakallicht noch nicht sicher zu erklären; einige Naturforscher halten es für die Sonnenatmosphäre, die entweder selbstleuchtend ist oder von der Sonne beleuchtet wird; andere dagegen glauben, es sei ein um die Sonne herumliegender Nebelring.

6) Vom Sehen.

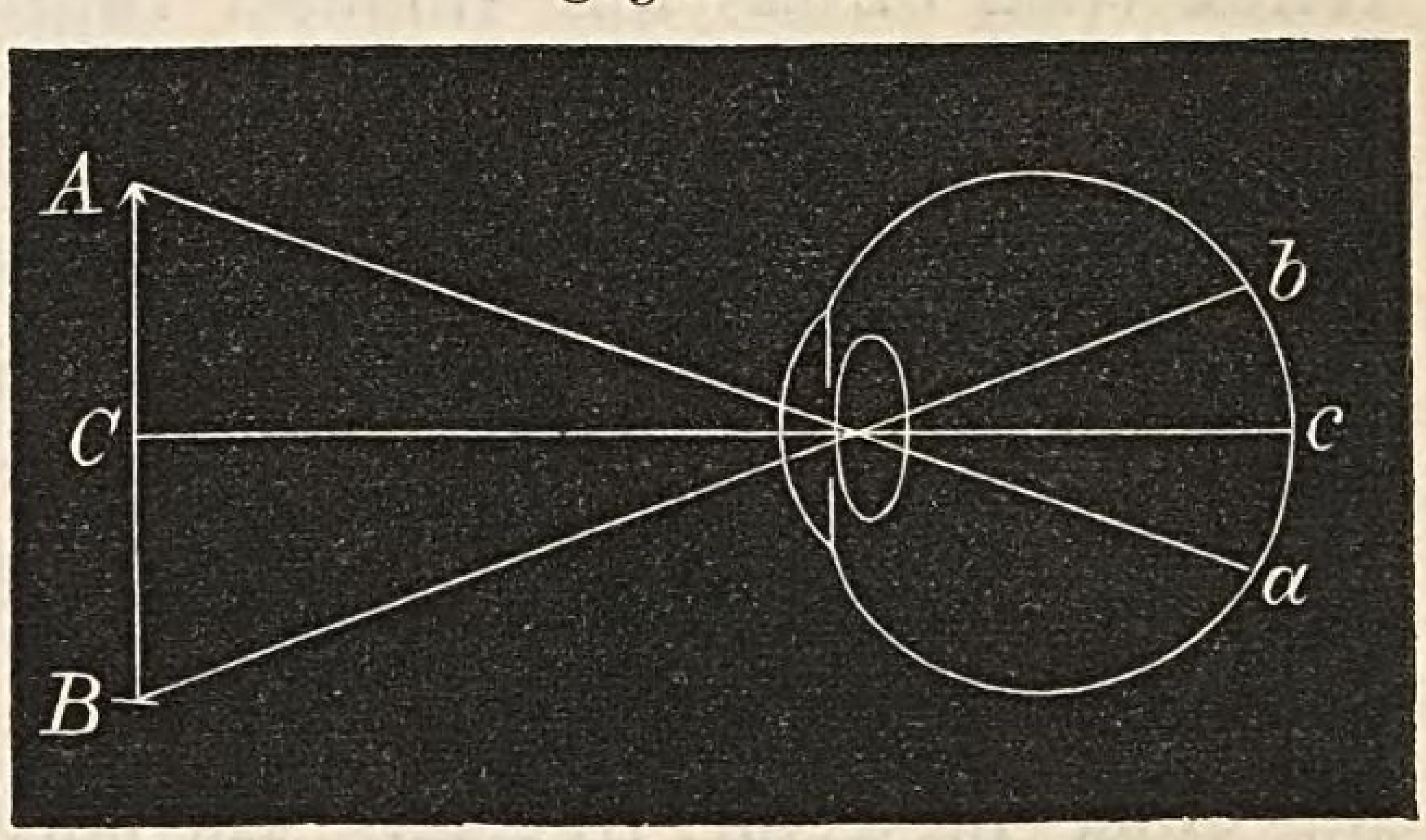
175. 1) Um einen Begriff zu erhalten von der Art, wie man sich das Sehen mittelst des Auges, so weit es nach den Lehren der Dioptrik erklärt werden kann, verdeutlicht, muß man seinen Bau wenigstens im allgemeinen kennen. In der Figur 98 ist 1) abc die undurchsichtige Hornhaut oder die weiße Haut, 2) adc die durchsichtige Hornhaut, 3) die Aderhaut e vor der undurch-

sichtigen Hornhaut. Die Aderhaut und die Iris sind nach innen zu mit dem schleimigen pigmentum nigrum überzogen, welches jene undurchsichtig macht, 4) die Regenbogenhaut oder die Iris f unter der durchsichtigen Hornhaut mit der Pupille g, welche sich bei zunehmendem Lichtreize verengt, bei abnehmendem erweitert, 5) die Netzhaut oder die Retina h vor der Aderhaut; sie ist eine Ausbreitung des aus dem Gehirne kommenden Sehnerven i. Im Innern des Auges ist die Krystallinse k, welche mit der Iris zusammen das Auge in die Vorderkammer, die mit der wässerigen Feuchtigkeit, und in die Hinterkammer, die mit der Glasfeuchtigkeit angefüllt ist, teilt. Die gerade Linie db, mitten durch die Pupille und senkrecht auf beiden Flächen der Linse, heißt die Augenachse; sie ist zugleich die Achse der Linse. Das Sehen verdeutlicht man sich nun auf folgende Art: Von jedem leuchtenden Punkte fällt ein Strahlenkegel auf die Pupille des Auges; alle diese Strahlen werden im Auge, indem sie durch mehrere durchsichtige Mittel (durchsichtige Hornhaut, wässerige Feuchtigkeit, Krystallinse und Glasfeuchtigkeit) gehen, so gebrochen, daß sie sich hinter der Linse kreuzen und auf der Netzhaut ein Bild des leuchtenden Punktes bewirken. Der mittelste Strahl in diesem Strahlenkegel, der gleichsam den optischen Mittelpunkt der Krystallinse trifft, die Achse desselben, auch die Sehlinie genannt, geht ungebrochen durch das Auge, und in dem Punkte, in welchem er die Netzhaut trifft, müssen alle übrigen Strahlen des Kegels zusammenkommen, wenn ein deutliches Bild des leuchtenden Punktes entstehen soll. Nur diejenige Stelle der Netzhaut, wo der Sehnerv aus dem Gehirne ins Auge tritt, ist für das Licht unempfindlich (punctum coecum). Sie fällt nicht in die Augenachse, sondern etwas seitlich von derselben; die Sehnerven beider Augen treffen sich vor ihrem Eintritt ins Gehirn in einem Punkte, um nachher wieder divergierend an verschiedenen Stellen in das Gehirn einzutreten. Figur 98, welche einen horizontalen Durchschnitt des rechten Auges darstellt, zeigt die seitliche Stellung des Nerveneintritts in den Augapfel.

Figur 98.



Figur 99.



2) Ein leuchtender Körper ist hier nur als eine Summe leuchtender Punkte zu betrachten. Sein Bild, welches, wenn es deutlich sein soll, auch auf der Netzhaut liegen muß, ist verkehrt, denn ist in Figur 99 Cc die Augen=

achse und zugleich die Achse der Krystallinse, welche die Hauptbrechung bewirkt, und A B ein Objekt, so hat aus bekannten Gründen (§ 167) C sein Bild in c, B aber das seinige über C c in b, so wie A unter C c in a, so daß also das Bild b a die umgekehrte Lage von A B hat. Wie es übrigens möglich ist, daß durch das auf der Netzhaut entstandene Bild unser Geist die Empfindung des Sehens erhält, kann die Physik nicht lehren, und wohl auch keine andere Wissenschaft.

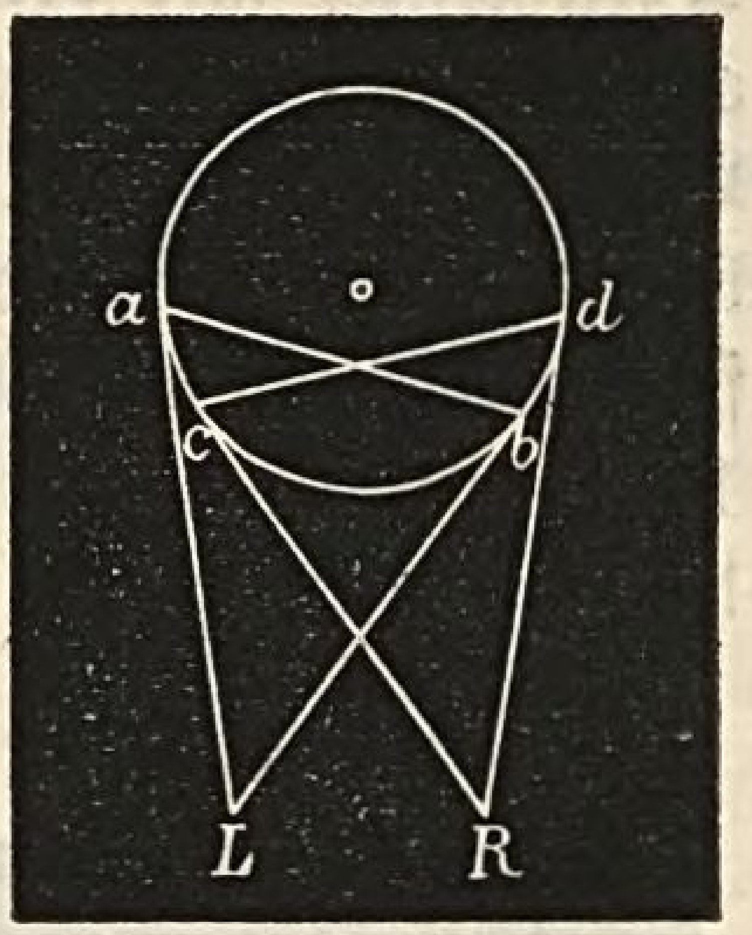
Unsere Sinnesthätigkeiten müssen, damit wir die Objekte außer uns erkennen, sich gegenseitig ergänzen, um die Erfahrungen des Tastsinnes mit denen des Gesichts in Übereinstimmung zu bringen. Wir sehen die Gegenstände aufrecht, wiewohl ihre Bilder im Auge verkehrt sind, weil wir nicht diese Bilder sehen, sondern weil das Auge einen leuchtenden Punkt in die Richtung versetzt, in welcher es den Lichteindruck erhalten hat. Die unteren Punkte der Gegenstände bilden sich aber im Auge oben, die links gelegenen rechts ab u. s. w. Wir sehen einen Gegenstand mit beiden Augen einfach, wenn die Bilder desselben in den Augen symmetrische — identische, correspondierende — Stellen der Netzhaut treffen, doppelt aber im entgegengesetzten Falle; so erscheint ein Gegenstand, z. B. ein Licht, eine brennende Lampe doppelt, wenn wir das eine Auge an einer Stelle seitwärts mit dem Finger drücken, wodurch seine Gestalt verändert und hierdurch hervorgebracht wird, daß die Augenachsen nicht gleichliegende Punkte treffen. Sehen wir nach einer entfernten Stelle hin und halten zugleich näher am Auge, 10—20 cm entfernt, einen Körper, wozu sich besonders ein schmaler Körper eignet, z. B. einen Finger, so sieht man diesen ebenfalls doppelt.

Die Größe des Bildes hängt von dem Sehwinkel (§ 153, 3) ab, mithin die scheinbare Größe der Gegenstände von der Größe des Bildes; bei der Bewegung eines Gegenstandes bewegt sich auch sein Bild im Auge, und deshalb empfinden wir jene Bewegung. Helle Gegenstände erscheinen auf dunklem Grunde etwas größer, als gleich große dunkle Körper auf hellem Grunde, weil ein lebhafter Lichteindruck auch auf die unmittelbar benachbarten Nerven der Netzhaut erregend wirkt. Durch diese Erscheinung, welche Irradiation genannt wird, erklärt sich auch die Sichtbarkeit und verschiedene scheinbare Größe der Fixsterne, deren Sehwinkel selbst bei stärkster Vergrößerung in den Fernröhren nicht meßbar ist.

3) Das von dem Engländer Wheatstone 1838 erfundene und zuerst von dem Schotten Brewster 1850 verbesserte Stereoskop ist ein Instrument, welches die Gegenstände von, nach gewissen Regeln in einer Ebene gezeichneten Bildern den Augen verkörpert erscheinen läßt und dadurch die überraschendste Täuschung hervorbringt. Es gründet sich auf die Verschiedenheit der Bilder, welche in den beiden Augen von demselben Gegenstande entstehen. Da die Standpunkte der beiden etwa 52 mm aus einander liegenden Augen verschieden sind, so können die beiden Netzhautbilder nicht ganz mit einander übereinstimmen, denn das linke Auge übersieht von den links gelegenen Teilen des Gegenstandes mehr und von den rechts gelegenen weniger als das rechte Auge, und das rechte wieder von jenen weniger und von diesen mehr als das linke; auch erscheint dem einen Auge die Lage oder Richtung des Objekts häufig anders als dem andern, sowie von einzelnen Begrenzungsflächen sich die einen voll und die andern verkürzt den einzelnen Augen in umgekehrter Ordnung darstellen. Liegt z. B. ein Ring in Figur 100 mit den Augen in gleicher Höhe horizontal, so übersieht das linke Auge L, bei geschlossenem rechten, den innerhalb der Tangenten L a und L b eingeschlossenen Bogen a b, das rechte

Auge dagegen, bei geschlossenem linken, den in ähnlicher Weise bestimmten Bogen c d; beide Augen zugleich aber den Bogen a d, welcher um b d = a c größer als a b = c d ist. — Zieht man auf der Oberfläche eines geraden Holzkegels rechts und links je zwei naheliegende Linien mit Kreide vom Gipfel bis zum Grundkreise, stellt ihn auf den Tisch und entfernt sich von ihm soweit, daß die zweiten oder entfernteren Linien den sichtbaren Teil der Kegelfläche begrenzen, wenn man mit beiden Augen zugleich sieht, so verschwindet die zweite Linie rechts beim Schließen des rechten Auges, so wie die zweite Linie links beim Schließen des linken. Eben so bei einer Kugel, so daß also beide Augen wirklich mehr sehen als jedes einzelne Auge für sich; jedes Auge sieht nämlich auf seiner Seite einen gewissen äußersten Teil, der dem andern verborgen bleibt, und so umfassen zwei Augen den Gegenstand weiter als ein Auge, wodurch wir uns seiner Körperlichkeit mehr bewußt werden. — Wenn ein Kegel vor dem Gesichte so gehalten wird, daß seine Spitze gegen die Nasenspitze gerichtet ist, während seine Grundfläche mit der die Mittelpunkte der Augen verbindenden geraden Linie parallel liegt, so erscheint die Kegelspitze vor dem Mittelpunkte des Grundkreises, oder seitwärts rechts oder seitwärts links von demselben, je nachdem man mit beiden Augen oder nur mit dem linken oder nur mit dem rechten sieht. — Wird ein Würfel, senkrecht mit einer Kante, zwischen den Augen in einiger Entfernung gehalten, so zeigt sich bei geschlossenem rechten Auge die linke Fläche voll und die rechte verkürzt; bei geschlossenem linken Auge die rechte voll und die linke verkürzt. — Bei einem in ähnlicher Weise mit der schmalen Seite zwischen den Augen gehaltenen Ringe sieht man mit dem linken Auge von links nach rechts durch denselben, mit dem rechten von rechts nach links. Diese und viele andere Fälle zeigen deutlich, daß die beiden Netzhautbilder mit einander nicht vollkommen übereinstimmen können.

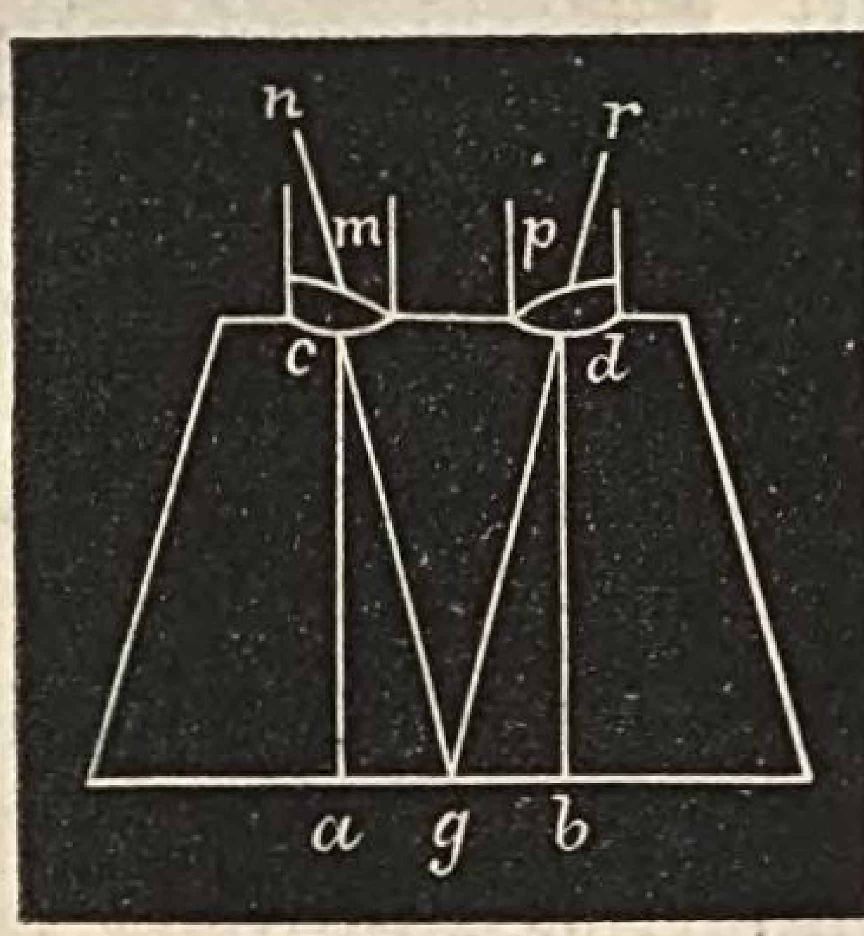
Figur 100.



Wenn nun von einem Gegenstande zwei Bilder aufgenommen werden, das eine denselben darstellend, wie er dem linken Auge allein, das andere wie er dem rechten Auge allein erscheint, und wird eine solche Vorrichtung getroffen, daß das linke Auge nur auf sein Bild und das rechte gleichzeitig nur auf das seinige sehen kann, so ergänzen sich diese beiden Bilder zu einem einzigen in der Art, daß man den Körper selbst zu sehen glaubt. Diese Täuschung ist bei einiger Geduld schon ohne Instrument hervorzubringen, wenn zwischen die beiden Bilder nur irgend eine Scheidewand gestellt wird, oder wenn man die Augen so zu fixieren vermag, um jedes Auge zu verhindern, nach dem Bilde des andern zu sehen; weit bequemer hat man es beim Stereoskop: äußerlich ein Kästchen, welches die Form einer abgekürzten vierseitigen

Pyramide mit rektangulärer Grundfläche hat, inwendig mit einer Scheidewand in der Mitte der langen Seiten. Auf den Boden werden die Bilder gelegt, im Deckel befinden sich in der Entfernung der beiden Augen zwei prismatische Gläser oder die zwei Hälften derselben bikonvexen Linse, mit den scharfen Rändern in der Mitte einander zugekehrt, oder es sind die Gläser auch in besondern Röhren angebracht. Zur Beleuchtung der undurchsichtigen Bilder befindet sich in der einen längern Seitenwand eine verschließbare Öffnung, und für die durchsichtigen Photographien auf Glas, die unter einem Winkel von etwa 12° aufgenommen werden, ist der Boden behufs der Beleuchtung durchbrochen.

Figur 101.



Die Vereinigung des Doppelbildes zu einem einzigen Bilde erklärt sich also: Sind in Figur 101 a und b zwei entsprechende Punkte in den zwei Bildern, so werden zwei entsprechende Lichtstrahlen wie a c und b d nach bekannten Regeln gebrochen und nehmen auf der andern Seite der Gläser die Richtungen m n und p r an, wodurch jedes Auge seinen Punkt in den Durchschnittspunkt g der verlängerten n m und r p, längs welcher sie den Lichteindruck erhielten, versetzt.

Die ersten Stereoskopen waren nicht Prismen-Stereoskope, sondern Spiegel-Stereoskope, in denen nicht die beiden zusammengehörenden Bilder, sondern deren Spiegelbilder betrachtet wurden. In der Mitte des Bodens befanden sich zwei ebene Spiegel unter einem Winkel oben zusammengefügt und den schmalen Seiten des Kästchens zugewendet, wo die Bilder, auf jeder Seite eins, angebracht wurden. — Das Stereoskop, verbunden mit der Photographie giebt das beste Mittel, die Selbstanschauung von Statuen, Gebäuden, Ortschaften, Gegenden u. s. w zu ersetzen.

4) Es ist durch Erfahrung dargethan: 1) daß wir uns eines Lichteindruckes auf die Netzhaut erst nach einiger Zeit seiner Wirkung bewußt werden, und 2) daß ein jeder Lichteindruck, wenn er erst zu unserem Bewußtsein gekommen ist, nicht sofort verschwindet, sondern eine gewisse kurze Zeit fortdauert. Hieraus folgt, daß Lichteindrücke, welche so schnell auf einander folgen, daß der spätere empfunden wird, während die Empfindung des früheren noch fortdauert, von uns als gleichzeitig gehalten werden müssen. Die Zeit, welche nötig ist, sich eines geschehenen Lichteindruckes bewußt zu werden, ist bei verschiedenen Menschen verschieden; auch die Zeit und die Stärke, durch und mit welcher er fortdauert, ist nach der Farbe des Lichts verschieden; Weiß steht oben an, worauf Gelb, Rot, Blau folgen. Im Mittel rechnet man 0,34 Sekunden als diejenige Zeit, welche vom stärksten Eindrucke bis zum völligen Aufhören vergeht.

Den Durchgang desselben Fixsternes durch den Meridian können zwei verschiedene Beobachter in verschiedenen Augenblicken wahrnehmen, die wohl $^1/_4$ Sekunde aus einander liegen können. Eine im Kreise geschwungene glühende Kohle

gewährt den Anblick eines feurigen Kreises; auf gleiche Art erscheint der Blitz wie jeder elektrische Funke als eine Lichtlinie. — Thaumatrop (Gehler IV. 1459 und VIII. 771) — Stamphers stroboskopische Scheibe. — Plateaus Anorthoskop. — Purkinjes Phorolyt. — Auch die Erscheinung, daß ruhende Gegenstände sich zu bewegen scheinen, wenn man vorher längere Zeit sich wirklich bewegende Gegenstände beobachtet hat, beruht darauf, daß jeder Lichteindruck einige Zeit dauert.

5) Man nimmt im Mittel als die Entfernung des deutlichen Sehens 25 cm an; so lange die Muskeln des Auges vollkommene Beweglichkeit haben, hat auch dieses die Fähigkeit, sich so einzurichten, daß es Gegenstände in größerer und kleinerer Entfernung, als die des deutlichen Sehens ist, deutlich sehen kann — sich zu accommodieren. Als äußerste Grenzen des Accommodationsvermögens für schärfstes Sehen, soweit es mit bloßem Auge überhaupt möglich ist, können die Entfernungen von 10—40 cm angenommen werden. Wären die Augenteile unbeweglich, so müßte nach bekannten Gesetzen der Dioptrik das Bild entfernter Gegenstände in der Hinterkammer des Auges näher an der Linse, als das naher Gegenstände sein, so daß das Bild eines Gegenstandes in einer Entfernung, die größer als die des deutlichen Sehens wäre, vor die Netzhaut, im entgegengesetzten Falle aber hinter sie, und nur dann auf sie fiele, wenn die Entfernung gerade die zum deutlichen Sehen erforderliche wäre. Da dieses aber bei einem gesunden Auge nicht so ist, so müssen entweder durch die Bewegung der Muskeln die durchsichtige Hornhaut und die Krystallinse für nahe Gegenstände mehr, für entferntere weniger konvex werden, oder die Krystallinse wird für nähere Gegenstände von der Retina etwas entfernt, für entferntere derselben aber etwas genähert. — Wer zum deutlichen Sehen eine merklich kürzere Entfernung als 25 cm braucht, heißt **kurzsichtig** (myops), wie der, welcher nur in einer merklich größeren Entfernung deutlich sieht, **weitsichtig** (presbys). Das kurzsichtige Auge hat nicht die Fähigkeit, sich für entferntere, so wie das weitsichtige nicht die Fähigkeit, sich für nahe Gegenstände einzurichten; beiden kommt man durch Linsen, von denen bei den optischen Instrumenten die Rede sein wird, zu Hilfe. (§ 176).

IV. Von den gewöhnlichen optischen Instrumenten.

176. 1) Zum genaueren Verständnis der wichtigsten optischen Instrumente mögen folgende Punkte noch einmal kurz hervorgehoben werden:

a. Unter der **scheinbaren Größe** eines beliebig entfernten Gegenstandes versteht man die Größe, welche derselbe bei unverändertem Sehwinkel (§ 153, 3) in der normalen Sehweite von 25 cm haben würde.

b. Die scheinbare Größe bedingt die **Größe des Bildes auf der Netzhaut** des Auges; diese ist proportional der Größe des

Sehwinkels. Die Vorstellung der wirklichen Größe des Gegenstandes ist reine Verstandessache.

c. Wird der Sehwinkel kleiner als 1′, die scheinbare Größe also kleiner als 0,1 mm, so läßt sich die Gestalt des Gegenstandes in der Regel nicht mehr erkennen. Ein Dreieck, Quadrat, Kreis, oder auch eine Gruppe getrennter Körper innerhalb dieses Sehwinkels macht den gleichen Eindruck eines einzigen rundlichen Fleckchens. Der Gegenstand, oder die Gruppe von Gegenständen erscheint dem Auge als optischer Punkt. Wird der Sehwinkel kleiner als 30″, die scheinbare Größe also kleiner als $^1/_{20}$ mm, so ist unter gewöhnlichen Umständen der Punkt nicht mehr sichtbar.

d. Ist jedoch die Helligkeit eines Punktes im Vergleich zu seiner Umgebung groß genug, um durch den Einfluß der Irradiation (§ 175, 3) auf der Netzhaut unter einem Sehwinkel von mehr als 30″ zu erscheinen, so ist der Punkt dem Auge sichtbar, auch wenn der wirkliche Sehwinkel unmeßbar klein geworden ist.

e. In Folge des Accommodationsvermögens erfolgt auch die Vereinigung paralleler Strahlen zu einem Punkte auf der Netzhaut des Auges. Daher sind alle optischen Punkte als solche deutlich sichtbar, welche außerhalb der geringsten Weite deutlichen Sehens (etwa 10 cm) bis zu unendlicher Entfernung sich befinden, wenn nur ihre Helligkeit eine ausreichende ist.

f. Bei Anwendung von Linsen wird meistens die Brennweite, sowie die Entfernung des Gegenstandes und seines Bildes von dem optischen Mittelpunkte der Linse in Rechnung gezogen, um daraus die Größe der entstehenden Bilder zu finden. Hierbei kommt die dioptrische Hauptformel (§ 167, 2) zur Anwendung, gewöhnlich in der Gestalt:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}.$$

2) Brillen oder Augengläser sind Linsen, deren sich kurzsichtige und weitsichtige (§ 174, 5) Menschen zum deutlichen Sehen bedienen. Fällt im Auge das Bild vor die Netzhaut, wie beim Kurzsichtigen, so liegt das daran, daß die durchsichtige Hornhaut und die Krystallinse zu konvex sind und deshalb die Strahlen zu stark brechen, wodurch die zu einem und demselben Strahlenkegel gehörenden Strahlen, indem sie sich vor der Netzhaut kreuzen, diese nicht in einem Punkte, sondern in einer kleinen Fläche treffen und dadurch ein undeutliches Bild bewirken. Da der Kurzsichtige die Hornhaut und die Krystallinse nicht weniger konvex machen, auch letztere der Netzhaut nicht nähern kann, wodurch das Bild die Netzhaut erreichen könnte, so vermehrt man durch ein dem Auge vorgehaltenes Konkavglas die Divergenz der in die Pupille fallenden Strahlen, wodurch sie für das Auge gleichsam aus einem näheren Punkte kommen und darin ein von der Krystallinse entfernteres Bild bewirken, welches bei für das Auge passender Konkavität die Netzhaut erreicht. Beim Weitsichtigen verhält sich alles umgekehrt. Die durchsichtige Hornhaut und die Krystallinse sind zu

wenig konvex, die Strahlen brechen zu wenig, wodurch das Bild hinter die Netzhaut fällt und undeutlich wird, weil die zu einem und demselben Lichtkegel gehörenden Strahlen die Netzhaut wiederum nicht in einem Punkte, sondern in einer kleinen Fläche treffen, da sie sich erst hinter ihr kreuzen. Jene Augenteile können weder mehr konvex gemacht, noch auch von der Netzhaut entfernt werden, um das Bild auf die Netzhaut zu bringen; wohl können aber durch eine dem Auge vorgehaltene Konvexlinse, welche immer die Konvergenz begünstigt, die divergent auffallenden Strahlen weniger divergent gemacht werden, wodurch sie gleichsam aus entfernteren Punkten kommen und im Auge, in Bezug auf die Krystallinse, ein näheres Bild bewirken, welches bei für das weitsichtige Auge passender Konvexität bis auf die Netzhaut zurücktritt. Die Konkavlinse bringt also dem Kurzsichtigen die entfernten Gegenstände, und die Konvexlinse dem Weitsichtigen die nahen gleichsam in die für sie zum deutlichen Sehen notwendige Entfernung.

Ein künstliches Auge mit einer Vorrichtung, um zu zeigen, wie bei Kurzsichtigen durch Konkavlinsen, bei Weitsichtigen durch Konvexlinsen auf der Netzhaut undeutliche Bilder deutlich gemacht werden. —

Es giebt verschiedene Grade der Kurz- und Weitsichtigkeit, weil die Augenteile, auf die es hier ankommt, in verschiedenen Graden zu viel und zu wenig konvex sein können, daher auch verschiedene Nummern der Augengläser. — Konservationsbrillen haben bedeutende Brennweiten von 40—50 cm. Weitsichtigkeit ist der gewöhnliche Fehler des höheren Alters, indem die durchsichtige Hornhaut und die Krystallinse durch Austrocknung weniger konvex werden, so wie Kurzsichtigkeit am häufigsten im mittleren Lebensalter, sehr oft auch schon bei jungen Leuten vorkommt, meist herbeigeführt durch anhaltende Beschäftigung mit Dingen, die dem Auge nahe gehalten werden müssen und die das Auge einseitig gewöhnen, z. B. das Zeichnen, Schreiben, Lesen u. s. f., wie denn überhaupt das Auge namentlich in der Jugend, eben so leicht zur Weitsichtigkeit als zur Kurzsichtigkeit gewöhnt werden kann. — Schonung der Augen. — Grauer, grüner, schwarzer Star, je nachdem das Übel eine Verdunkelung der Krystallinse oder der Glasfeuchtigkeit, oder eine Empfindlichkeit der Netzhaut ist. Die Starbrillen für auf den grauen Star operierte Personen, bei denen die Bilder weit hinter die Netzhaut fallen, sind natürlich sehr konvexe Linsen. — Lorgnetten. — Periskopische Brillen. — Schielsehen, Doppelsehen.

3) Die Lesegläser, deren sich alte Personen zum Lesen bedienen, haben zum Hauptzweck Vergrößerung. Sie sind Konvexlinsen von bedeutender Brennweite; befindet sich die Schrift innerhalb der Brennweite, so sieht sie das auf der Rückseite sich befindende Auge nach dioptrischen Gesetzen vergrößert und aufrecht, wie bei den einfachen Mikroskopen im folgenden Paragraph. Bei häufigem und lange dauerndem Gebrauche schaden sie dem Auge.

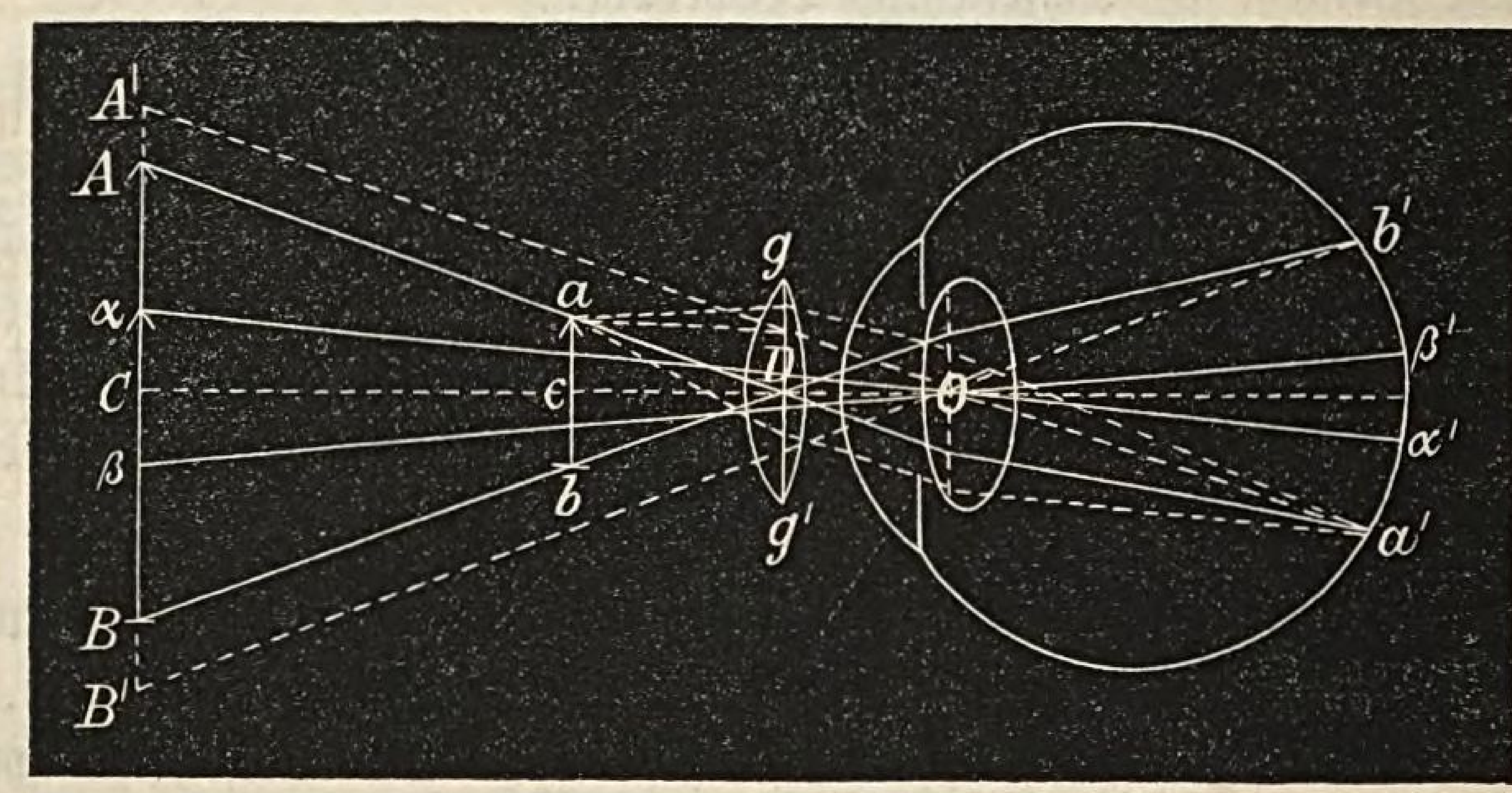
177. 1) Mikroskope, Vergrößerungsgläser, sind Instrumente, welche dem Auge nahe liegende kleine Gegenstände vergrößern. Das einfache Mikroskop ist eine kleine konvexe Glaslinse; sie stellt die Gegenstände unter einem größeren Sehwinkel dar und vergrößert sie dadurch. Dieser größere Sehwinkel entsteht zwar auch, wenn das Objekt näher vor das Auge gehalten wird; aber das Bild wird undeutlich, weil die Strahlen eines jeden Punktes auf die Pupille zu

divergent auffallen, im Auge zu wenig gebrochen werden und sich erst hinter der Netzhaut vereinigen. Eine dazwischen so gehaltene Konvexlinse, daß das Objekt innerhalb der Brennweite und zwar ganz nahe am Brennpunkte zu stehen kommt, vermindert die Divergenz der auffallenden Strahlen, bewirkt ihre Vereinigung auf der Netzhaut und dadurch ein deutliches Bild, welches desto entfernter nnd desto größer erscheint, je kürzer die Brennweite der Linse ist. Das Objekt wird gleichsam in die Entfernung des deutlichen Sehens, etwa 25 cm, versetzt; daher muß auch der Kurzsichtige die Linse dem Objekte etwas näher, der Weitsichtige etwas entfernter halten; die Vergrößerung des Durchmessers eines Objektes findet man, wenn man 25 cm durch die Brennweite dividiert. Bei einer Brennweite von 25, 5, 2,5 mm vergrößert also ein Mikroskop in derselben Ordnung $\frac{250}{25}, \frac{250}{5}, \frac{250}{2,5}$ oder 10, 50, 100 mal im Durchmesser. Um die Vergrößerung einer Fläche oder eines Körpers zu erhalten, hat man nur nötig, die Vergrößerungszahl (10, 50, 100 u. s. w.) des Diameters im ersten Fall: zu quadrieren und im zweiten: zu kubieren. — Es gewährt nur ein kleines Gesichtsfeld, so daß man nur einen Teil des Gegenstandes übersieht.

Lupen — Mikroskopische Linsen — Glaskügelchen und Wassertropfen sind auch Mikroskope. Diamant- und Saphirlinsen, welche bei starker Strahlenbrechung die farbigen Strahlen (§ 169) weniger zerstreuen. Um die sphärische Abweichung möglichst zu vermeiden, müssen die Krümmungen auf beiden Seiten der Linse verschieden sein; die konvexe Seite wird dem Objekte zugewendet.

Bei figürlicher Darstellung der Brechung, welche die Strahlen, namentlich in Mikroskopen und Fernröhren auf ihrem Wege durch eine oder mehrere Linsen erleiden, ist es in der Regel nicht möglich auch nur annähernd die maßgebenden Dimensionen (Entfernung, Größe, selbst Brennweiten und Sehwinkel) im richtigen gegenseitigen Verhältnis zu zeichnen. Die darstellenden schematischen Zeichnungen können daher nur als Anhalt zur Berechnung der wirklichen Dimensionen nach

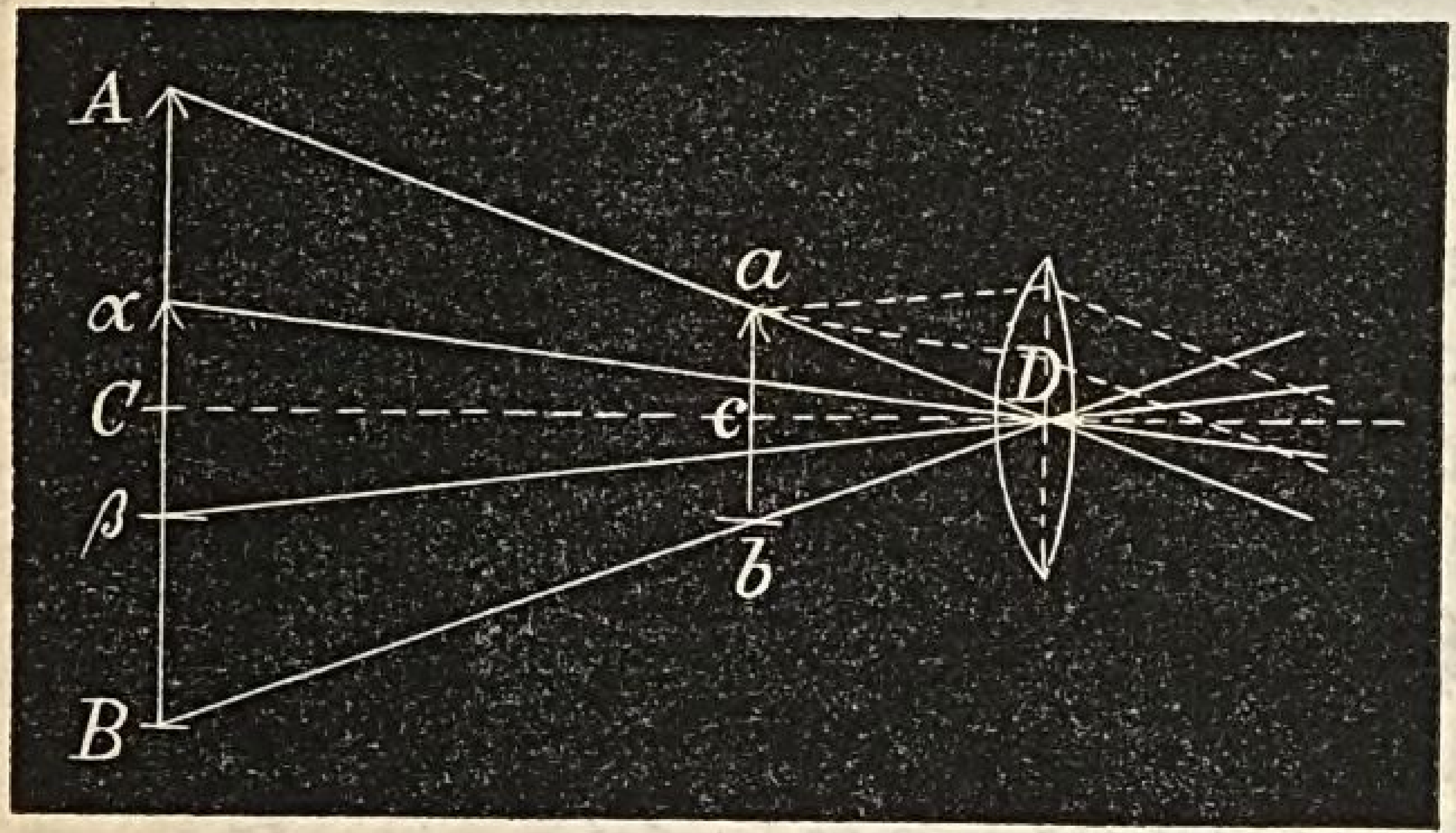
Figur 102.



bekannten Gesetzen dienen. Figur 102 zeigt die Wirkung einer Konvexlinse von kurzer Brennweite, also eines einfachen Mikroskops. Ist $\alpha\beta$ ein Gegenstand in normaler Sehweite, so wird ohne Anwendung der Linse auf der Netzhaut des Auges, dessen optischer Mittelpunkt in O liegt, das deutliche Bild $\alpha' \beta'$ entstehen,

unter dem Sehwinkel $\alpha O \beta = \alpha' O \beta'$. Wird $\alpha\beta$ dem Auge genähert, so wird der Sehwinkel, mithin auch $\alpha' \beta'$ größer, das Bild aber bleibt nur so lange deutlich sichtbar, bis die Grenze des Accommodationsvermögens erreicht ist; nimmt man diese zu 10 cm an, so kann also hierdurch allein eine 2,5fache Vergrößerung erreicht werden. Bringt man dagegen die Linse gg′ dicht vor das Auge und den Gegenstand nach a b in die Brennweite D c, so werden die von irgend einem Punkte des Gegenstandes, etwa von a, auf die Linse fallenden Strahlen so gebrochen, daß sie sämmtlich parallel zu a D die Linse verlassen, in dieser Richtung also das Auge treffen und in a′ auf der Netzhaut wieder vereinigt werden; a′ ist der Punkt, in welchem der durch den optischen Mittelpunkt O des Auges parallel zu a D gehende Strahl die Netzhaut trifft. In gleicher Weise erzeugt der Punkt b im Auge das Bild b′. Der Gegenstand erscheint hiernach deutlich sichtbar unter dem Sehwinkel a′ O b′ = a D b, in normaler Sehweite also in der Größe A B. Bei dem sehr kleinen Abstande von D und O im Verhältnis zur Sehweite O C können zur Vereinfachung, ohne wesentlichen Fehler, D und O als zusammenfallend angenommen werden; dann fallen auch die Punkte A′ und B′, welche in der Verlängerung von a′ O und b′ O liegend, streng genommen für A und B gesetzt werden müßten, mit diesen zusammen.

Figur 102 a.



Ist nun hiernach (Figur 102 a) A B = 2 A C und a b = 2 a c, so ist:

$$\triangle ACD \sim \triangle acD, \text{ also}$$

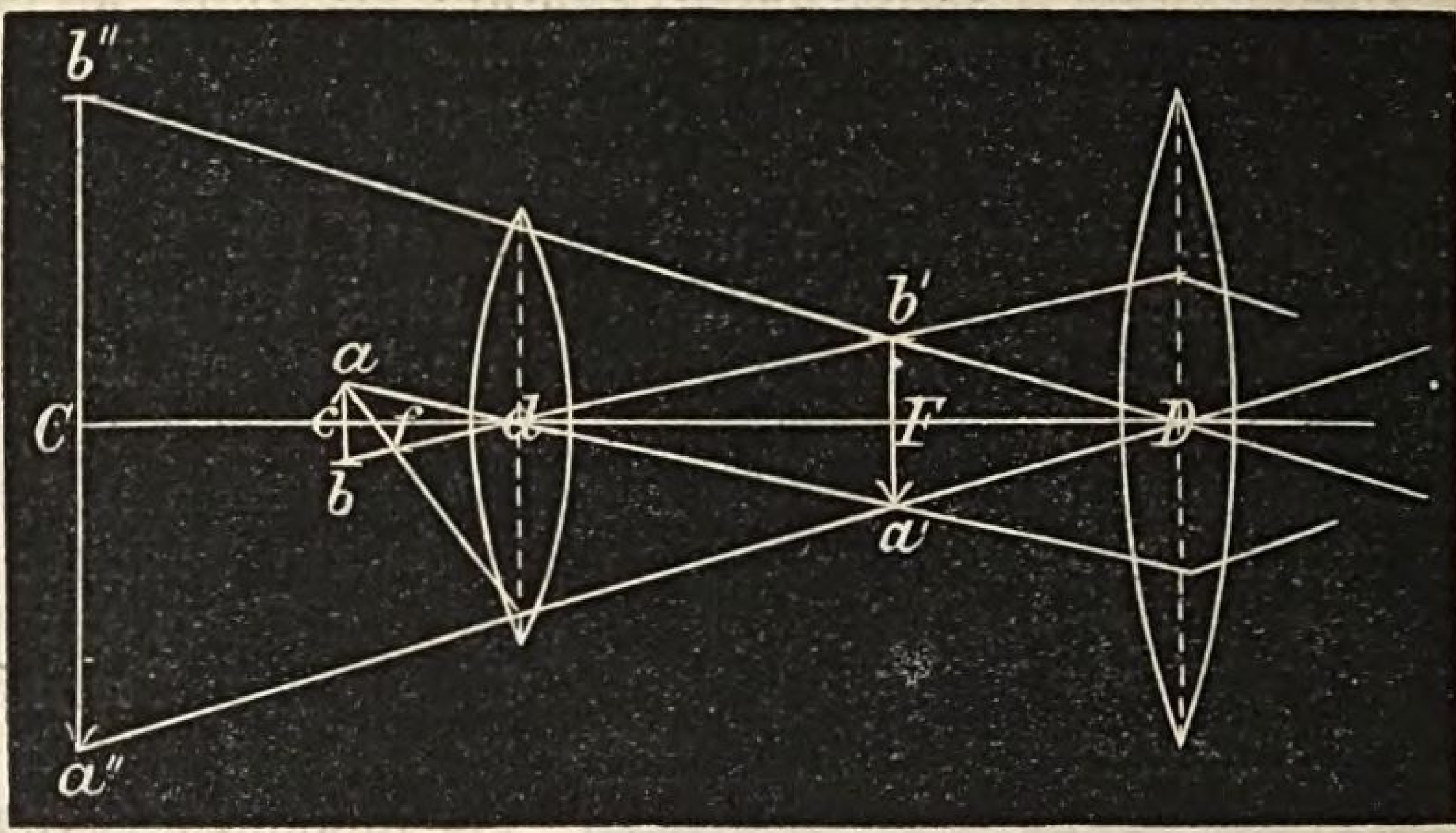
C D : c D = A C : a c = 2 A C : 2 a c = A B : a b. Da aber C D die normale Sehweite, c D der Brennweite gleich oder nahezu gleich ist, so ist der Sinn der Proportion C D : c D = A B : a b folgender: der Durchmesser des Bildes (scheinbare Größe) übertrifft den des Objektes so oftmal, als die Weite des deutlichen Sehens die Brennweite. Bezeichnet man die normale Sehweite mit s, die Brennweite mit p, die scheinbare lineare Größe mit bloßem Auge mit l und die durch die Linse erzielte scheinbare Größe mit l′, so ist in obigem Beispiele:

$$l' = l \cdot \frac{s}{p}$$

2) Das **zusammengesetzte Mikroskop** besteht in einfachster Form aus zwei konvexen Gläsern, von denen das **Objektivglas**, d. i. das dem Objekte zugewendete, eine bikonvexe Linse von kurzer Brennweite ist, das **Okularglas**, d. i. das dem Auge vorgehaltene, dagegen eine Linse von größerer Brennweite. Der Gegenstand muß von dem Objektivglase etwas weiter als der Brennpunkt entfernt sein, wodurch ein verkehrtes, vergrößertes objektives Bild (§ 167, 4) zwischen den beiden Gläsern entsteht, und da die Entfernung derselben von einander von der Art ist, daß dieses Bild in die Brennweite des Okularglases oder wenigstens nahe an den Brennpunkt fällt, so muß es, durch das Okularglas betrachtet, unter einem vergrößerten Sehwinkel erscheinen, wie beim einfachen Mikroskope das Objekt selbst. Das Auge sieht also durch das Okularglas nicht den Gegenstand, sondern sein durch das Objektivglas bewirktes verkehrtes und vergrößertes Bild abermals vergrößert. Fig. 103. Die Vergrößerungszahl des ganzen

Instrumentes findet man, wenn man die Vergrößerungszahlen der einzelnen Linsen mit einander multipliziert. Gewöhnlich enthalten die

Figur 103.



zusammengesetzten Mikroskope noch eine dritte Linse, die sogenannte Kollektivlinse, welche zwischen dem Objektiv- und Okularglase und vor dem letztern in solcher Entfernung angebracht ist, daß sie vom Objektivglase herkommende Strahlen vor ihrer Vereinigung zum Bilde auffängt; sie verkleinert etwas das Bild und nähert es dem Objektiv, giebt ihm aber größere Schärfe und vermindert die chromatische Abweichung.

Für das Mikroskop mit zwei Linsen läßt sich das Gesetz folgendermaßen nachweisen: steht in Figur 103 das Objekt a b in der Entfernung c d = a, welche etwas größer ist, als die Brennweite f d = p vor der Objektivlinse, so entsteht ein physisches Bild a' b' in der Entfernung d F = α, so daß $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$ oder $\alpha = \frac{a \cdot p}{a-p}$ ist. Da die wirklichen Größen a' b' und a b unter gleichem Sehwinkel (a' d b' = a d b) sich verhalten wie ihre Entfernungen vom Scheitel desselben, so müssen auch die scheinbaren Größen l' und l bei gleicher Entfernung (Sehweite s) in demselben Verhältnis zu einander stehen, d. h.

$$l' : l = a'b' : ab = \alpha : a$$

$$l' = l \frac{\alpha}{a} = l \cdot \frac{a \cdot p}{a \cdot (a-p)} \text{ oder}$$

$$l' = l \cdot \frac{p}{a-p}$$

Die Okularlinse steht vor a' b' in der Entfernung D F, welche der Brennweite p' des Okulars gleichgesetzt werden kann, so daß in der normalen Sehweite D C = s das Bild a'' b'' = l'' entsteht; nach dem Vorherigen ist:

$$l'' = l' \cdot \frac{s}{p'} = l \cdot \frac{p}{a-p} \cdot \frac{s}{p'}$$

Da l die scheinbare Größe des Gegenstandes, $\frac{p}{a-p}$ die Vergrößerungszahl des Objektivs für die Entfernung a des Objektes und $\frac{s}{p'}$ die Vergrößerungszahl des Okulars ist, so drückt obige Formel das zu beweisende Gesetz aus.

Fassung des einfachen Mikroskops. Rohr; da mit Vergrößerung des Bildes die Helligkeit abnimmt, so wird zu stärkerer Beleuchtung (wie 3) des Gegenstandes ein Spiegel oder seitwärts eine Linse angebracht; Diaphragma oder Blendung, Mikrometer, und sonstige Einrichtung des Instrumentes. Die Mi-

kroskope von Plössl in Wien, von Frauenhofer in München, von Pistor und Schieck in Berlin sind berühmt, eben so die von Chevalier und die katoptrischen von Amici in Modena.

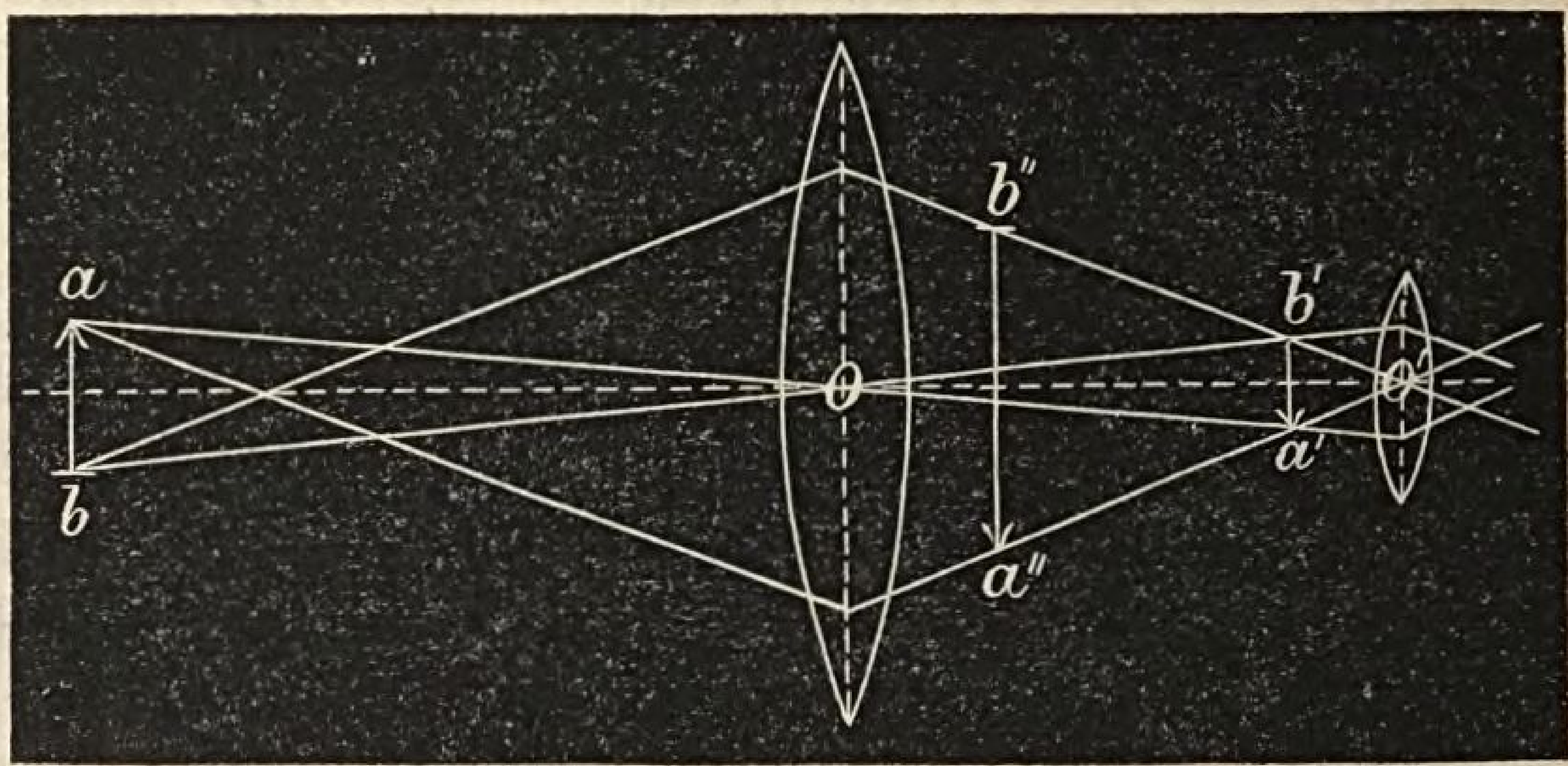
3) Das Sonnenmikroskop, von Lieberkühn 1738 erfunden, besteht aus einem Planspiegel, einer Konvexlinse von größerer Brennweite und einer Linse von kurzer Brennweite. Die beiden letzteren befinden sich in einem Rohre, so daß zwischen dieselben vor die mikroskopische Linse zum Teil durchsichtige Objekte, z. B. Fliegenflügel, gebracht werden können; der Spiegel außerhalb des Rohres, vor der größeren Linse angebracht, ist beweglich eingerichtet. Das ganze Instrument wird in dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers so befestigt, daß die Sonnenstrahlen auf den Spiegel und von da auf die große Konvexlinse fallen. Das Objekt, vor die mikroskopische Linse, etwas außerhalb deren Brennweite, verkehrt gelegt, bildet sich dann auf der gegenüberliegenden Wand bedeutend vergrößert in aufrechter Stellung ab. Nur die mikroskopische Linse bewirkt hier die Vergrößerung; die größere Linse dient blos dazu, das durch den Planspiegel auf sie geworfene Licht zu verdichten und dadurch das Objekt, welches sich fast in ihrem Brennpunkte befindet, stark zu erleuchten, weshalb sie auch Erleuchtungsglas oder Beleuchtungslinse heißt. Ist nun das fast im Brennpunkte des Erleuchtungsglases sich befindende Objekt in Bezug auf die mikroskopische Linse außerhalb ihrer Brennweite, aber nahe am Brennpunkte, so giebt es auf der anderen Seite ein verkehrtes, und wenn das Objekt verkehrt eingesteckt worden ist, also ein aufrechtes Bild, welches, von der gegenüberliegenden Wand aufgefangen, desto größer erscheinen muß, je entfernter sie ist. Es ist leicht zu zeigen, daß das Objekt im Durchmesser so oft vergrößert wird, als oft die Brennweite der mikroskopischen Linse in der Entfernung des Bildes enthalten ist. Die Vergrößerung kann sehr weit getrieben werden, das Bild kann abgezeichnet und von Vielen gleichzeitig gesehen werden.

Bei dem Lampenmikroskop von Adams tritt an die Stelle des Sonnenlichtes eine hell leuchtende Lampe, bei dem Hydro-Oxygengas-Mikroskop dagegen das Licht eines mittelst Knallgas zum Glühen gebrachten Kalkstückes, welches ein 153 mal stärkeres Licht als eine Wachskerze giebt. (Das Drümmond'sche Kalklicht auch Solarlicht). In gleicher Weise wird auch mit großem Erfolge das elektrische Licht angewendet.

178. Teleskope, Fernröhre, sind solche optische Instrumente, die unseren Augen entfernte (daher klein erscheinende) Gegenstände vergrößern und verdeutlichen. Sie heißen dioptrische Fernröhre oder Refraktoren, wenn sie nur aus Gläsern zusammengesetzt sind, also das Licht in ihnen nur gebrochen wird; dagegen katoptrische, genauer kata-dioptrische, auch Reflektoren oder Spiegelteleskope, wenn sie Spiegel und Gläser enthalten, das Licht also in ihnen eine Zurückwerfung und Brechung erleidet. Von jeder Gattung giebt es drei Arten. Zu den Refraktoren gehören: a) Das astronomische Fernrohr oder Sternrohr, von Kepler 1620 erfunden und daher auch das Kepler'sche Fernrohr genannt, welches, wie das zusammengesetzte

Mikroskop einfachster Art, aus zwei bikonvexen (achromatischen) Gläsern zusammengesetzt ist, von denen aber das Okularglas eine kürzere Brenn-

Figur 104.



weite als das Objektivglas hat (Figur 104). Die Entfernung der Gläser ist gleich der Summe ihrer Brennweiten, so daß also der Brennpunkt der Rückseite des Objektivglases mit dem Brennpunkte der Vorderseite des Okularglases zusammenfällt. Das Objektivglas bewirkt von sehr entfernten Gegenständen ein verkehrtes Bild, nahe am gemeinschaftlichen Brennpunkte in der Brennweite des Okularglases, welches dieses Bild dem Auge vergrößert und zwar so oftmal, als oft die Brennweite des Okularglases in der des Objektivglases enthalten ist. Dieses Fernrohr zeigt hiernach die Gegenstände immer verkehrt; weshalb es hauptsächlich zu astronomischen Beobachtungen gebraucht wird.

Figur 104 zeigt das astronomische Fernrohr in seiner einfachsten Form. Der meistens sehr weit entfernte Gegenstand a b, dessen wirkliche Größe mit λ bezeichnet werde, erzeugt fast in der Brennweite p des Objektivs O das verkehrte Bild $a'b' = \lambda'$, so daß $\lambda' = \lambda \cdot \frac{p}{a}$ ist. Dieses Bild wird durch das Okular O', in der Brennweite p' wie durch ein einfaches Mikroskop betrachtet, weshalb seine scheinbare Größe l'' durch das Okular betrachtet gleich $\lambda' \cdot \frac{s}{p'}$ ist. Es ist also

$$l'' = \lambda' \cdot \frac{s}{p'} = \lambda \cdot \frac{p}{a} \cdot \frac{s}{p'}, \text{ oder auch}$$

$$l'' = \lambda \cdot \frac{s}{a} \cdot \frac{p}{p'}.$$

Ist λ die wirkliche Größe des Gegenstandes in der Entfernung a, so ist die scheinbare Größe l (in der Sehweite s) gleich $2 \cdot \frac{s}{a}$, so daß in obiger Formel für l'' der Wert l für den Wert $\lambda \cdot \frac{s}{a}$ gesetzt werden kann; hiernach ist also:

$$l'' = l \cdot \frac{p}{p'},$$

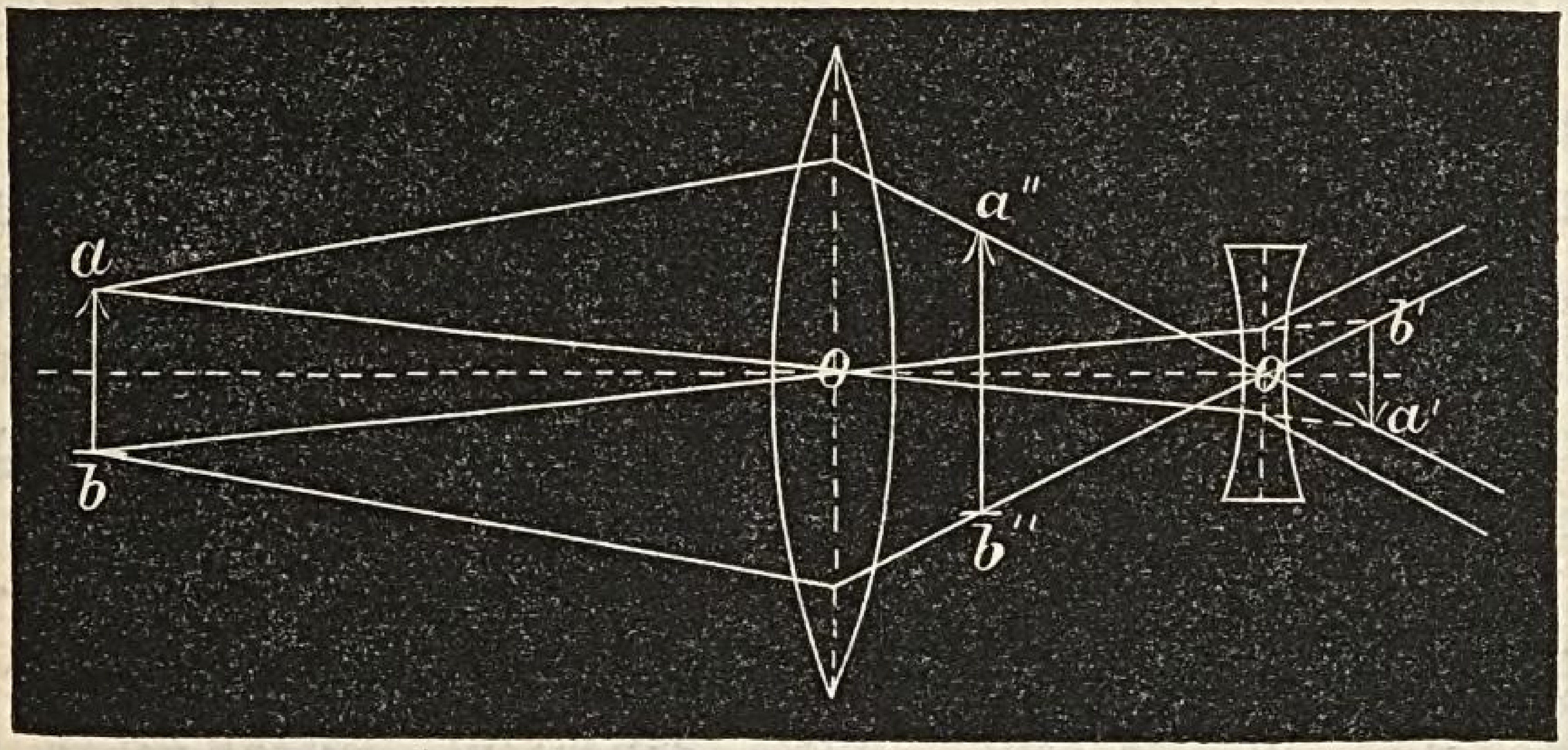
d. h. die scheinbare Größe des Bildes im Fernrohr ist so vielmal größer als die scheinbare Größe des Gegenstandes mit bloßem Auge gesehen, so vielmal die Brennweite des Okulars in der des Objektivs enthalten ist.

Der berühmte Refraktor in Dorpat, von Frauenhofer, von 235 mm Öffnung, 4,185 m Brennweite und 4,263 m Länge vergrößert 700 Mal; der Refraktor zu Pulkowa bei Petersburg, ebenfalls aus dem optischen Institute von Utzschneider-Frauenhofer in München, hat 366 mm Öffnung und 6,591 m Brenn-

weite und vergrößert 2000 Mal. — Heliometer. — Da die Vergrößerung des Bildes vom Verhältnis der Brennweiten abhängt, hat man, um zu lange Röhren zu vermeiden, versucht, das Objektivglas von sehr großer Brennweite auf einem hohen Gegenstande — dem Giebel eines Hauses — anzubringen, das Okularglas unter jenem parallel zu stellen. Durch solche Luftfernröhre kann man freilich nur bei Nacht, wo andere Strahlen nicht stören, beobachten.

b) Das älteste ist das Galilei'sche (1620) oder Holländische (Hans Lippershey, Middelburg 1608), welches ein konvexes achromatisches Objektivglas und ein konkaves Okularglas von bedeutend kürzerer Brennweite hat und die Gegenstände aufrecht zeigt (Figur 105). Die Gläser

Figur 105.



stehen ungefähr um die Differenz ihrer Brennweiten von einander, d. h. so, daß der Zerstreuungspunkt des Okularglases mit dem Brennpunkte des Objektivglases auf der dem Auge zugewendeten Seite zusammenfällt. Es entsteht in diesem Fernrohre kein physisches Bild; auch kommt das durch das Objektivglas bewirkte verkehrte Bild in seinem schon außerhalb des Rohres liegenden Brennpunkte nicht zu Stande, da das Okularglas den Lauf der Strahlen ändert, und diese zum Bilde noch nicht vereinigt gewesenen Strahlen so ins Auge gelangen läßt, als kämen sie von einem aufrechten Bilde, wodurch der Gegenstand in seiner wahren Stellung erscheint. Die Vergrößerungszahl findet man, wie bei dem vorigen, wenn man mit der Zerstreuungsweite in die Brennweite dividiert.

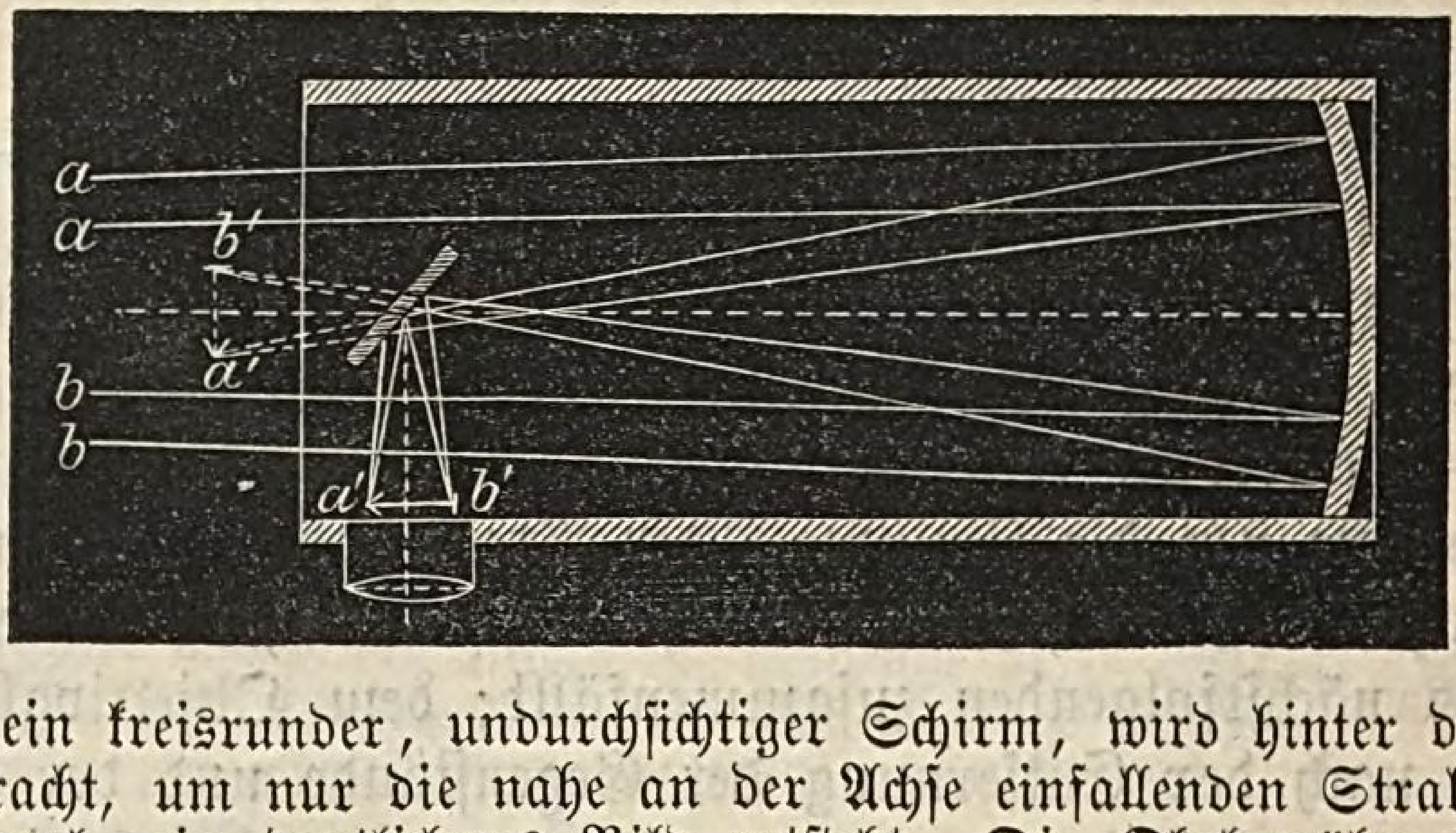
Operngucker. — Taschenperspektive. — Plössls Feldstecher.

c) Das Erdfernrohr, vom Pater Rheita (1597—1660) erfunden, besteht meist aus vier oder fünf konvexen Gläsern, und zwar aus einem Objektivglase von großer, und drei oder vier Okulargläsern von kleineren, aber gleichen Brennweiten. Die drei Okulare befinden sich in der Okularröhre in einer unveränderlichen Entfernung von einander, indem sie um die Summe ihrer Brennweiten von einander abstehen, so also, daß der hintere Brennpunkt der vorhergehenden mit dem vorderen des nächstfolgenden zusammenfällt; dem Objektivglase können die Okulare nach der Entfernung der Gegenstände und der Beschaffenheit des Auges mehr oder weniger genähert werden durch einstecken und herausziehen der Okularröhre. Das Objektivglas giebt ein verkehrtes Bild, die beiden ersten Okulare kehren es um, bewirken also ein auf-

rechtes Bild, und dieses wird von dem dritten dem Auge vergrößert dargestellt, weshalb das Erdfernrohr die Gegenstände aufrecht zeigt; da man aber durch dasselbe erst das zweite Bild sieht, so erscheinen die Gegenstände weniger hell, als im Sternrohre. Die Okularröhre wird soweit hineingeschoben, daß das vom Objektivglase bewirkte verkehrte Bild entfernter Gegenstände ganz nahe vor das erste Okularglas fällt; dieses Bild würde von einem Auge hinter dem ersten Okulare, wie beim Sternrohre, verkehrt und vergrößert gesehen werden. In Bezug auf das zweite Okular, welches die Lichtstrahlen durch die Brechung im ersten so erhält, als kämen sie von jenem Bilde, befindet sich dieses Bild außerhalb seiner Brennweite, wie beim Objektivglase das Objekt selbst; es muß mithin vom ersten Bilde, welches hier als Objekt für das zweite Okular zu betrachten ist, ein verkehrtes Bild, also von dem wirklichen Objekte ein aufrechtes, innerhalb der Brennweite des dritten entstehen, welches endlich dem Auge dasselbe unter einem größeren Sehwinkel darstellt. Diese Betrachtung zeigt auch, daß das Erdfernrohr als ein doppeltes Sternrohr zu betrachten ist. Die Vergrößerung ist hier so oftmal, als oft die Brennweite eines Okularglases in der des Objektivglases enthalten ist. Bei den Erdfernröhren mit vier Okulargläsern sind diese so gestellt, daß die von dem ersten Bilde auf das erste Okularglas von jedem Punkte divergent auffallenden Strahlen durch das erste und zweite Okular konvergent gemacht werden; ehe sie sich hinter dem zweiten vereinigen, werden sie von dem dritten aufgefangen und noch konvergenter gemacht, und das zweite Bild entsteht erst zwischen dem dritten und vierten Okulare innerhalb der Brennweite des letzteren. Es giebt Erdfernröhre mit noch mehreren Okulargläsern, so wie auch mit nur zweien. Achromatische oder Dollond'sche Fernröhre.

Die Gläser werden in Röhren gefaßt, teils um alles fremde Licht von der Seite abzuhalten, weshalb die Röhren auch noch inwendig geschwärzt sind, teils um sie desto genauer auf ihre gemeinschaftliche Achse senkrecht zu stellen. Die

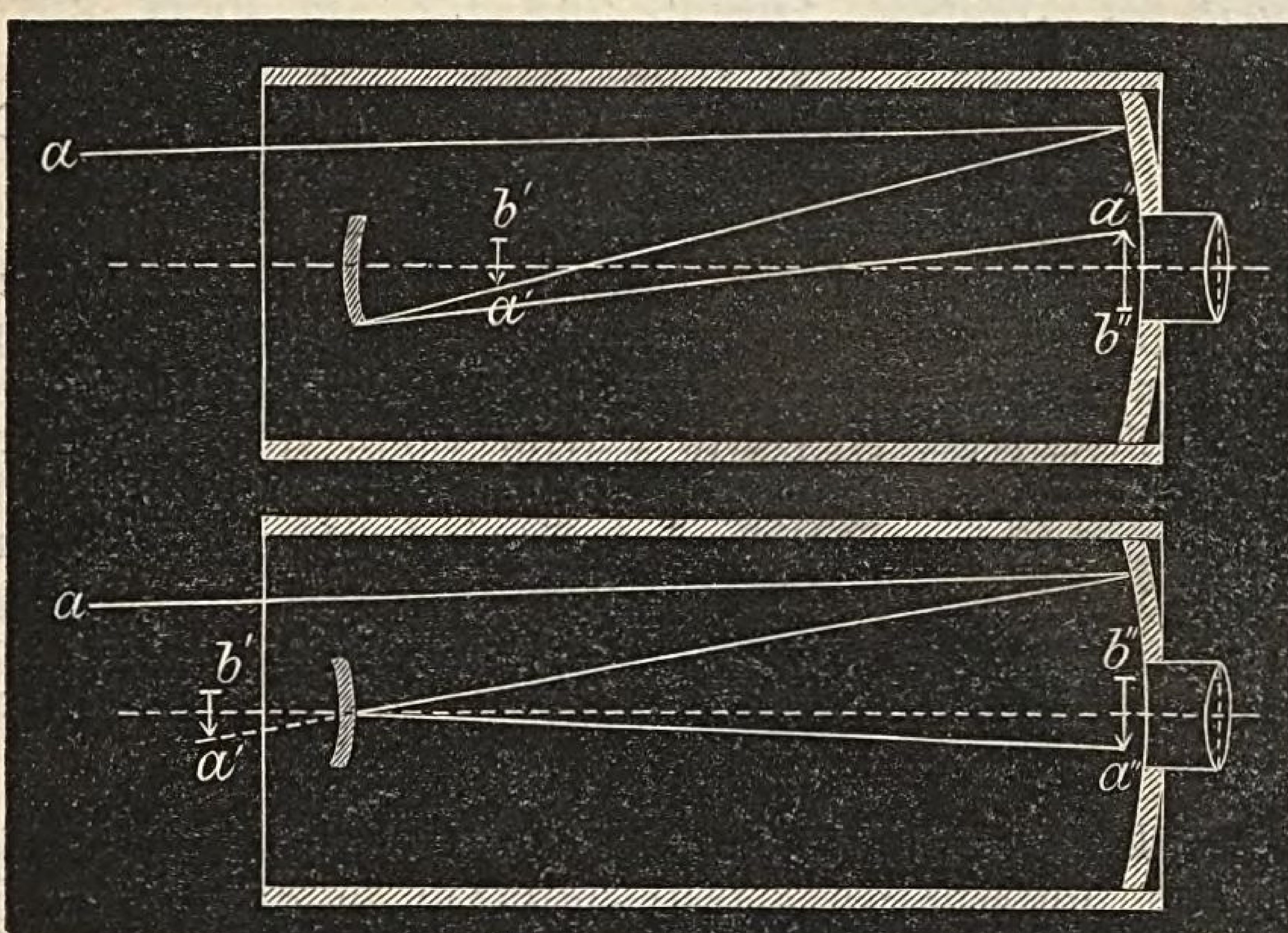
Figur 106.



Blendung, ein kreisrunder, undurchsichtiger Schirm, wird hinter dem Objektivglase angebracht, um nur die nahe an der Achse einfallenden Strahlen durchzulassen, wodurch ein deutlicheres Bild entsteht. Die Okularröhre ist beweglich eingerichtet, 1) weil der Kurzsichtige das Okularglas dem Objektivglase näher bringen, also die Okularröhre hineinschieben muß — damit das entstandene Bild dem eigentlichen Okulare so näher komme, wie bei dem einfachen Mikroskope das

Objekt selbst; 2) weil ein und dasselbe Auge die Okularröhre desto mehr herausziehen muß, nach einem je näheren Gegenstande es sieht. Das Bild eines näheren Gegenstandes ist nämlich weiter hinter dem Objektivglase, also näher dem Okularglase, als das eines entfernten Gegenstandes; damit es also in dieselbe Entfernung vom Okularglase komme und eben so stark vergrößert werde, wie dieses, muß die Okularröhre herausgezogen werden.

Die drei, eigentlich vier Reflektoren werden nach ihren Erfindern **Newton**, **Gregory**, **Cassegrain** und **W. Herschel** benannt. Das **Newton'sche**, Figur 106, enthält im Hintergrunde einer Röhre einen metallenen Konkavspiegel von großer Brennweite, innerhalb der Brennweite desselben in der Achse, unter einem Winkel von 45° gegen sie geneigt, einen kleinen metallenen Planspiegel und ihm gegenüber in der Seitenwand in einer besonderen Röhre eine Konvexlinse. Der Konkavspiegel ist hier der Objektivspiegel; die durch ihn zurückgeworfenen Strahlen werden, ehe sie in seinem Brennpunkte oder in der Nähe desselben ein Bild bewirken, mittelst des Planspiegels in die Brennweite, nahe an den Brennpunkt der sich seitwärts befindenden Konvexlinse, welche das Okularglas ist, reflektiert, und machen hier ein Bild, welches das Auge durch diese Linse unter einem größeren Sehwinkel sieht.



Figur 107.

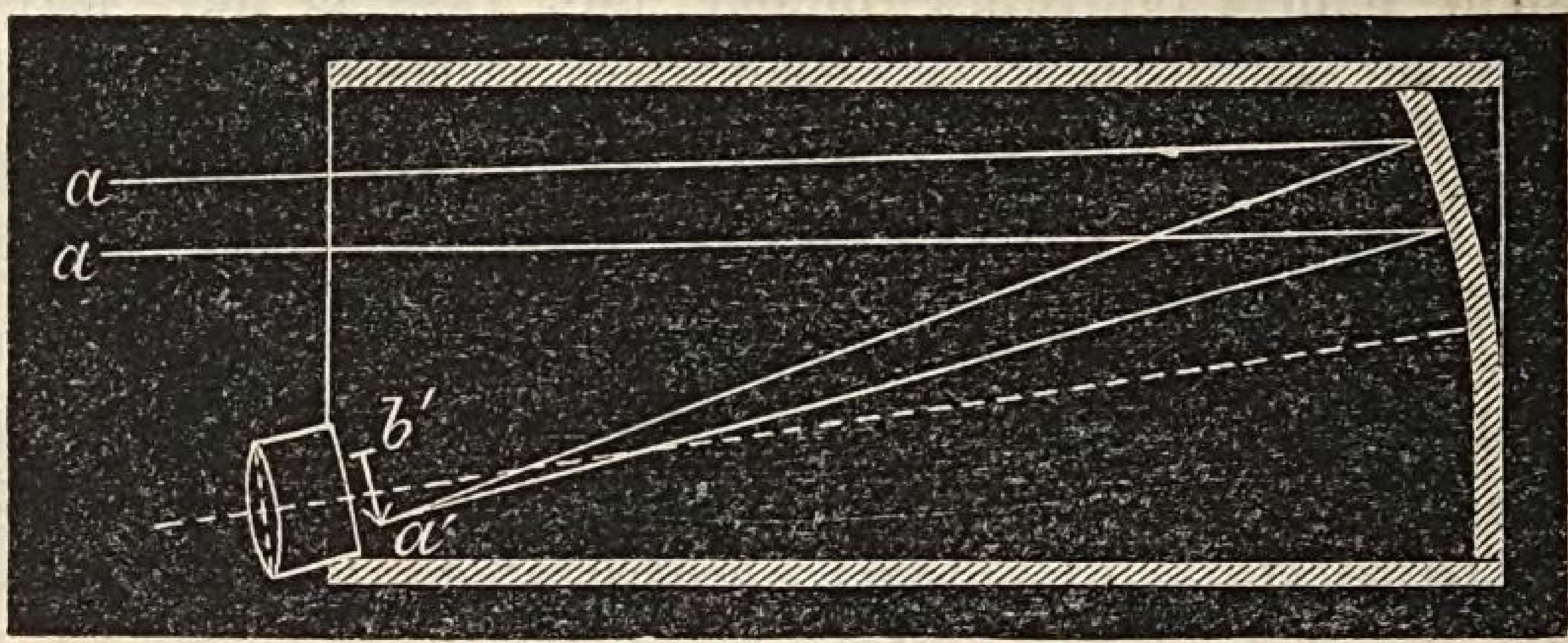
Figur 108.

Bei dem Teleskop von Gregory, Figur 107, ist ein kleiner Konkavspiegel, dessen Hauptachse mit der des großen Spiegels zusammenfällt, derart angebracht, daß das von letzterem erzeugte verkehrte Bild a' b' durch Reflexion in dem kleinen Spiegel ein etwas vergrößertes aufrechtes Bild a'' b'' erzeugt, welches durch eine Öffnung in dem großen Spiegel mit Hülfe eines Okulars in starker Vergrößerung erscheint. Cassegrain ersetzte den kleinen Konkavspiegel durch einen Konvexspiegel, Figur 108, sodaß in a'' b'' ein verkehrtes Bild vor dem Okular entsteht. Beide Konstruktionen verhalten sich ähnlich zu einander, wie das Kepler'sche Fernrohr zum Galilei'schen.

Die drei genannten Spiegelteleskope haben in der Hauptachse undurchsichtige Körper, bei letzteren beiden ist außerdem die Mitte des

Spiegels durchbohrt, wodurch gerade diejenigen Strahlen verloren gehen, welche den Gesetzen der Reflexion in sphärischen Spiegeln am

Figur 109.



genauesten entsprechen. Dieser Uebelstand ist in W. Herschels (des Älteren) Teleskop, Figur 109, dadurch vermieden, daß die Hauptachse des Spiegels gegen die Achse des Rohres geneigt ist, sodaß das Bild a' b' am Rande des Rohres entsteht und von hier durch ein Okular betrachtet wird. Bei den sehr großen Dimensionen dieses Teleskops wird durch den Kopf des Beobachters, welcher durch das Okular in die Mündung des Rohres hineinsieht, nur ein kleiner Bruchteil der Randstrahlen aufgefangen.

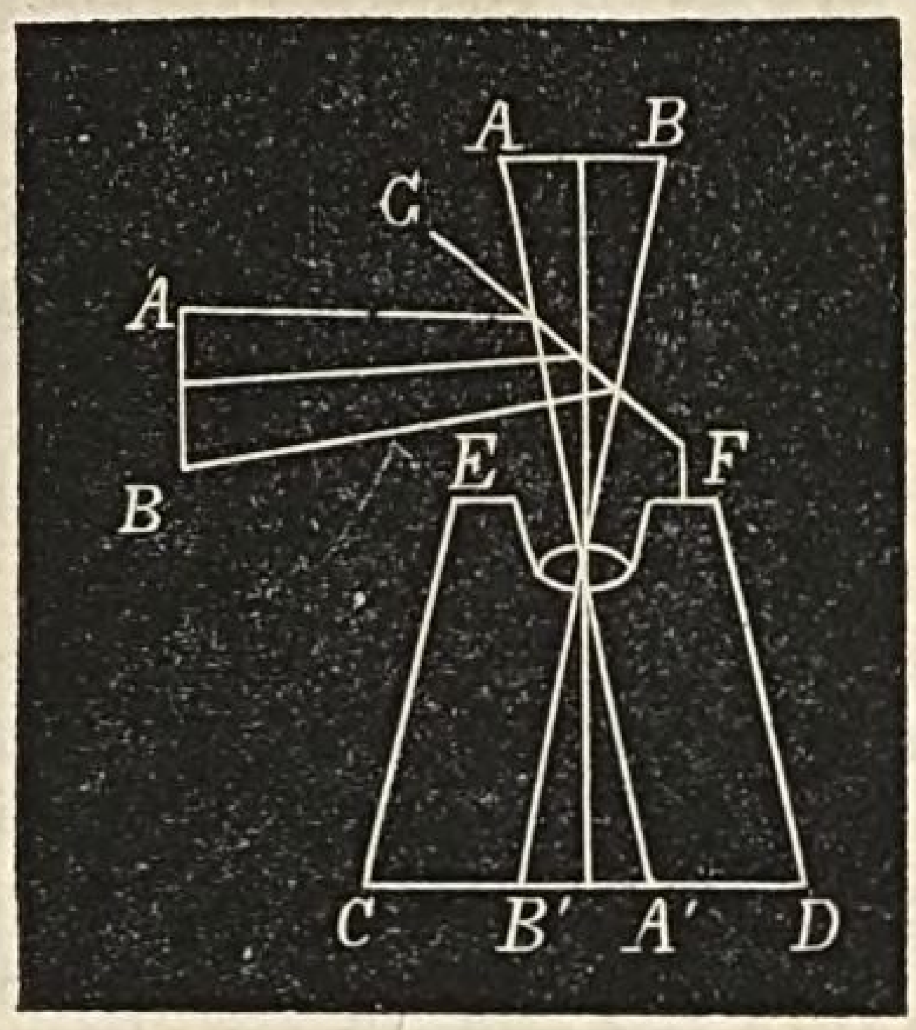
Finder oder Sucher. — W. Herschels Teleskop hatte einen Durchmesser von 1,25 m und eine Länge von 12,56 m; die lineare Vergrößerung war eine 7000fache, dabei aber auch die Lichtmenge, welche das Instrument dem Auge zuführte, 36,500 mal größer, als die, welche das Auge unmittelbar von demselben Gegenstande empfangen würde. Man könnte mit dessen Hülfe die kleinste Druckschrift noch in einer Entfernung von etwa 2—3 Kilometern lesen. Den Spiegel des Teleskops welches Lord Rosse in Dublin bauen ließ, und durch welches viele Nebelflecke betrachtet, sich als Haufen von Sternen zeigten, hatte 1,83 m im Durchmesser und 17,5 m Brennweite. Steinheil und Foucault haben durch Anwendung von Hohlspiegeln aus Glas, deren Vorderseite auf chemischem Wege versilbert ist, Teleskope hergestellt, welche mehrfache erhebliche Vorteile, wie größere Haltbarkeit gegen Witterungseinflüsse und größere Helligkeit den älteren Teleskopen gegenüber zeigen.

179. Von denjenigen optischen Instrumenten, deren Hauptbestimmung ist, unterhaltende Erscheinungen zu gewähren, heben wir nur folgende hervor:

1) Die von dem Neapolitaner Porta 1558 erfundene Camera obscura, welche nicht nur, wie die beiden darauf folgenden Instrumente, von Malern und Zeichnern zum perspektivischen Aufnehmen von Landschaften, sondern auch in unsern Tagen ganz besonders bei der Daguerreotypie und Photographie gebraucht wird. Sie hat für ersteren Zweck gewöhnlich die Form einer abgekürzten Pyramide, CDFE, Figur 110, deren geschwärzte Wände fest an einander schließen, und die oben mit einem Aufsatze EFG versehen ist, welcher in einer beweglichen Röhre eine Konvexlinse in horizontaler Lage, und über dieser einen Planspiegel unter 45° Neigung gegen die Linse enthält. Das Licht entfernter Gegenstände fällt auf den nach ihnen gerichteten Planspiegel, wird von hier auf die Linse reflektiert und giebt auf dem

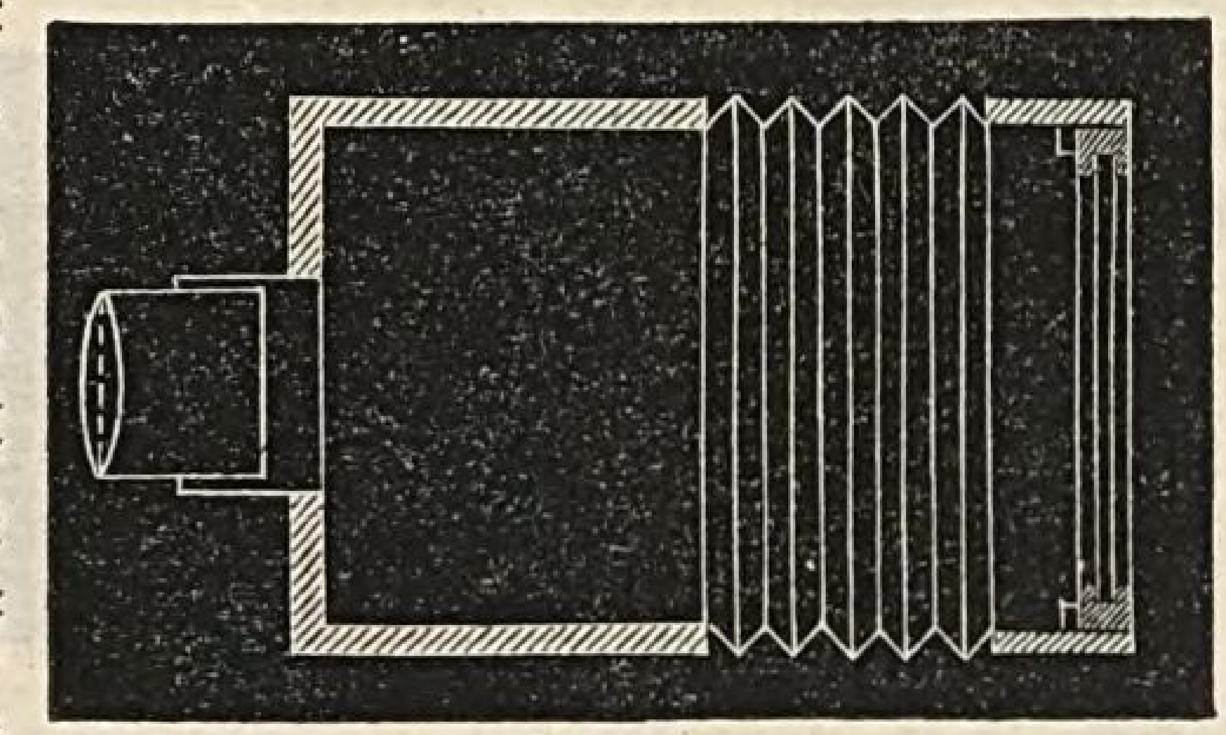
Boden der Pyramide, welcher von der Linse um ihre Brennweite entfernt ist, ein aufrechtes Bild, wenn man von der Seite des Objektes in den Kasten hineinsieht. Denken wir uns zuerst den Planspiegel weg und über der Linse, sehr weit außerhalb ihrer Brennweite, ein Objekt AB, so muß nach bekannten dioptrischen Gesetzen (§ 167) auf dem etwa um die Brennweite entfernten Boden sich ein Bild verkehrt abbilden, wie A' B', und wenn das Objekt näher an die Linse rückte, so würde das Bild unter den Boden fallen, und man müßte ihn also, damit es auf demselben sichtbar würde, von der Linse entfernen. Um bei der in der Zeichnung angegebenen Einrichtung des Instruments seitwärts liegende Gegenstände auf die horizontale Bodenfläche abzubilden, braucht nur ein Planspiegel über die Linse unter 45° Neigung angebracht zu werden. Da nämlich ein ebener Spiegel auf ihn fallende Strahlen in unveränderter Lage zu einander zurückwirft, so ist es gerade so, als wenn die auf den Spiegel fallenden und von ihm auf die Linse zurückgeworfenen Strahlen unmittelbar von demselben Objekte über der Linse, ungefähr in derselben Entfernung, in welcher sich das Objekt vor dem Spiegel befindet, herkämen, wodurch die Erscheinung vollkommen erklärt ist.

Figur 110.



Bei der zu photographischen Zwecken dienenden Camera obscura, Figur 111, befindet sich die Linse (oder ein zusammengesetztes Linsensystem) in einer Seitenwand des Kastens, welcher in seinem mittleren Teile, nach Art eines Blasebalges, leicht verlängert und verkürzt werden kann. Der Linse gegenüber wird das Bild zunächst auf einer mattgeschliffenen Glastafel in passender Entfernung aufgefangen; die Glastafel kann hierauf leicht entfernt und genau an deren Stelle eine vorher präparirte lichtempfindliche Platte gesetzt werden.

Figur 111.



Einrichtung jeder Stube zu einer Camera obscura. — Die Anwendung der Camera obscura zur Fixierung der Lichtbilder hat Daguerre (1838) erfunden. Das durch die Konvexlinse erzeugte Bild wird durch eine silberplattierte Kupferplatte aufgefangen, deren Oberfläche durch sorgfältige Polierung und durch so lange andauernde Anwendung von Dämpfen von Chloriod, Chlorbrom oder Bromiod, bis sich eine violette oder goldgelbe Schicht von Jodsilber bildet, zur chemischen Einwirkung des Lichtes empfänglich gemacht worden ist. Die durch das Licht hervorgebrachten Veränderungen werden durch Anwendung von Quecksilberdämpfen dauernd sichtbar gemacht, indem sich dieselben in unendlich feinen Tröpfchen an denjenigen Stellen, wo das Licht am meisten eingewirkt hat, niederschlagen, nicht aber an denjenigen, wo eine Lichteinwirkung nicht stattfand; hierauf wird, um eine spätere Einwirkung des Lichtes zu verhindern, der Überzug

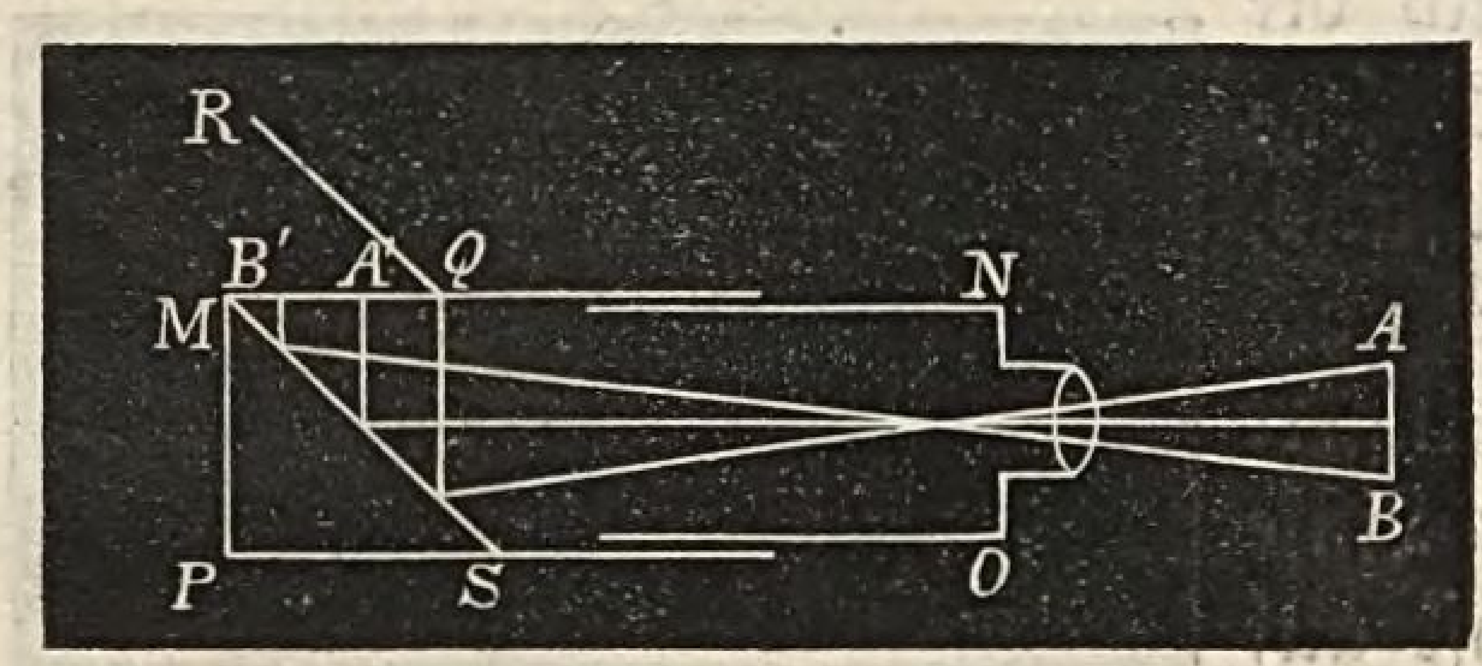
von Jodsilber durch eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron oder durch eine siedend heiße Kochsalzauflösung beseitigt und schließlich wird durch eine Chlorgoldauflösung dem Bilde ein Hauch von Gold gegeben, um es bleibender zu machen. — Photographie oder Heliographie, Daguerreotypie, Daguerreotype. — Die sogenannten negativen Bilder entstehen, wenn die jodierten Silberplatten in der Camera obscura längere Zeit, als zur Erzeugung des Bildes notwendig, der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt werden: die Schwärzung des Jodsilbers tritt dadurch sichtbar hervor und die dunklen Stellen der Bilder entsprechen den hellen der Gegenstände und umgekehrt, nachdem das Bild nach geschehener Lichteinwirkung mit einer gesättigten Lösung von Gallussäure übergossen worden ist.

Talbot hat das auf chemisch präpariertem Papier — kalotypes Papier — erzeugte negative Bild mit eben solchem Papier bedeckt, zwischen zwei Glasplatten gelegt und der Einwirkung des Tageslichtes ausgesetzt; er erhielt dadurch ein positives Bild, indem das Sonnenlicht von dem zweiten Papier durch die dunklen Stellen des Bildes auf dem ersten Papiere abgehalten wurde, während es durch die lichten Stellen seine Wirkung ausüben konnte. Da man auf diese Art von einem einzigen negativen Bilde mehrere positive Kopien machen kann, so ist es hierdurch leicht, Bilder zu vervielfältigen. Die Lichtbilder nach der Talbot'schen Methode werden vorzugsweise Photographien genannt.

Zur Erzeugung negativer Bilder werden jetzt Glastafeln angewendet, welche mit Eiweiß, Stärke &c. überzogen sind, besonders aber mit Kollodium, dem Alkohol und Jodkalium beigemischt sind, übergossen und dann in eine wässerige Lösung von salpetersaurem Silber eingetaucht werden; für die positiven Bilder dient Chlorsilberpapier, ein mit Chlorsilber imprägniertes Papier, insbesondere auch das sogenannte Albuminpapier. Die künstlerische Ausführung der Photographie ist ziemlich umständlich und erfordert große Sorgfalt.

2) Die Camera clara, Figur 112, ist ein viereckiger, länglicher Kasten M N O P, in dessen vorderem, beweglichem Teile sich eine Konvexlinse von ziemlich großer Brennweite befindet; ihr gegenüber im Kasten ein Planspiegel M S, unter 45° gegen den Boden geneigt, über diesem der bewegliche Deckel Q R. Das Bild eines entfernten Gegenstandes A B vor der Linse würde etwa auf M P fallen, aber der Spiegel wirft es herauf in die Nähe des bei der zur Betrachtung geöffneten Deckels, wo man es entweder auf ein matt geschliffenes Glas oder geöltes Papier fallen läßt, oder mittelst einer Konvexlinse, die sich in einer besonderen Röhre befindet, betrachtet.

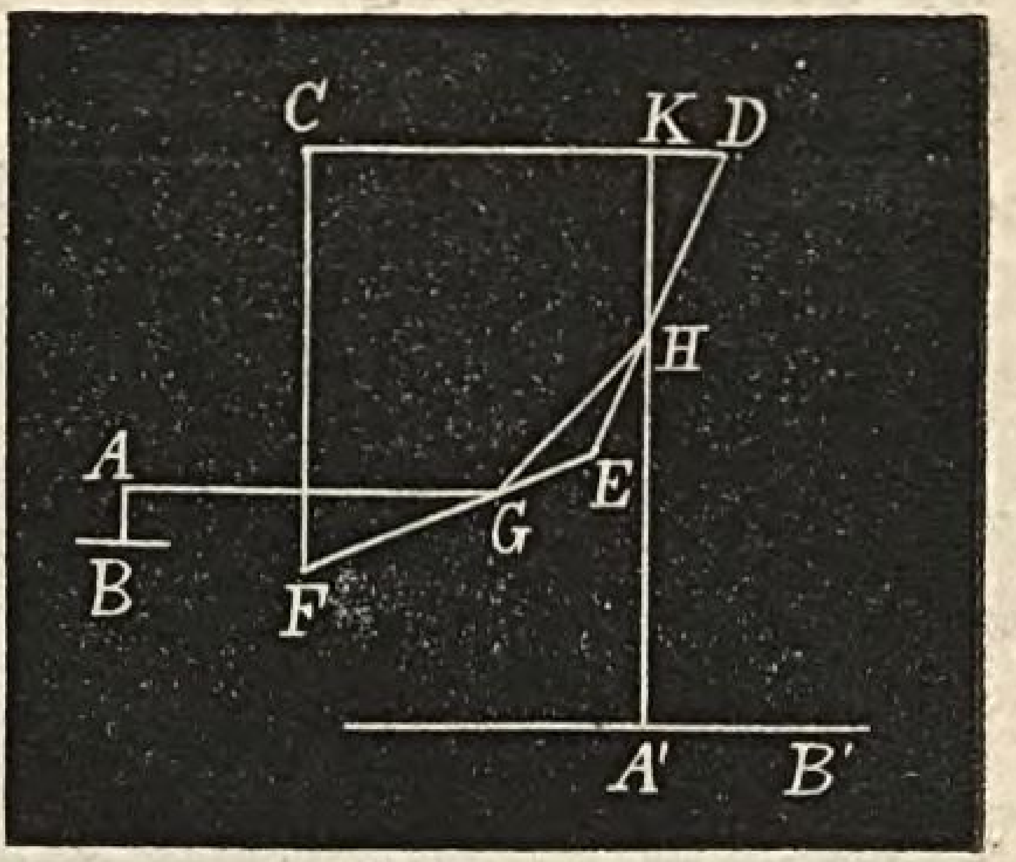
Figur 112.



3) Die Camera lucida, von Wollaston 1809 erfunden, wird nicht wegen ihrer Einrichtung, sondern wegen ihres mit den beiden ersten Instrumenten gleichen Zweckes eine camera genannt. Auf einem Gestelle von 16 bis 47 cm Höhe befindet sich ein kleines vierseitiges Prisma von etwa 26 mm Länge, dessen Grundfläche ein Trapezoid ist, in welchem ein Winkel ein rechter ist, der gegenüberliegende ein stumpfer von 135°, die beiden andern aber gleiche spitze von 67½°. Ist in Figur 113 C D E F ein senkrechter Durchschnitt des nach dem Objekte so horizontal gestellten Prismas, daß C der rechte Winkel ist, so geht der Lichtstrahl

AG, wenn er CF rechtwinklig trifft, ungebrochen in das Prisma, die Fläche EF trifft er unter einem Winkel von 90—67½ = 22½°, wird in G nicht gebrochen, weil er unter einem zu kleinen Winkel auffällt (§ 163, 3), sondern unter 22½° zurückgeworfen, trifft die Fläche ED in H unter 180° — 135 — 22½ = 22½°, wird wieder unter 22½° nach CD zurückgeworfen, trifft CD unter 180 — 67½ — 22½ = 90°, geht also in K ungebrochen durch. Befindet sich nun über K ein Auge, so wird dieses den Punkt A nach A′ versetzen und mithin ein ganzes Objekt AB auf einer Horizontalfläche wie A′B′ sehen, welches Bild, wenn man, bei D stehend, in K herabsieht, aufrecht erscheinen muß, und auf einem weißen Blatte Papier mittelst eines Bleistiftes, die beide auch von dem Auge in K gesehen werden, sogleich gezeichnet werden kann.

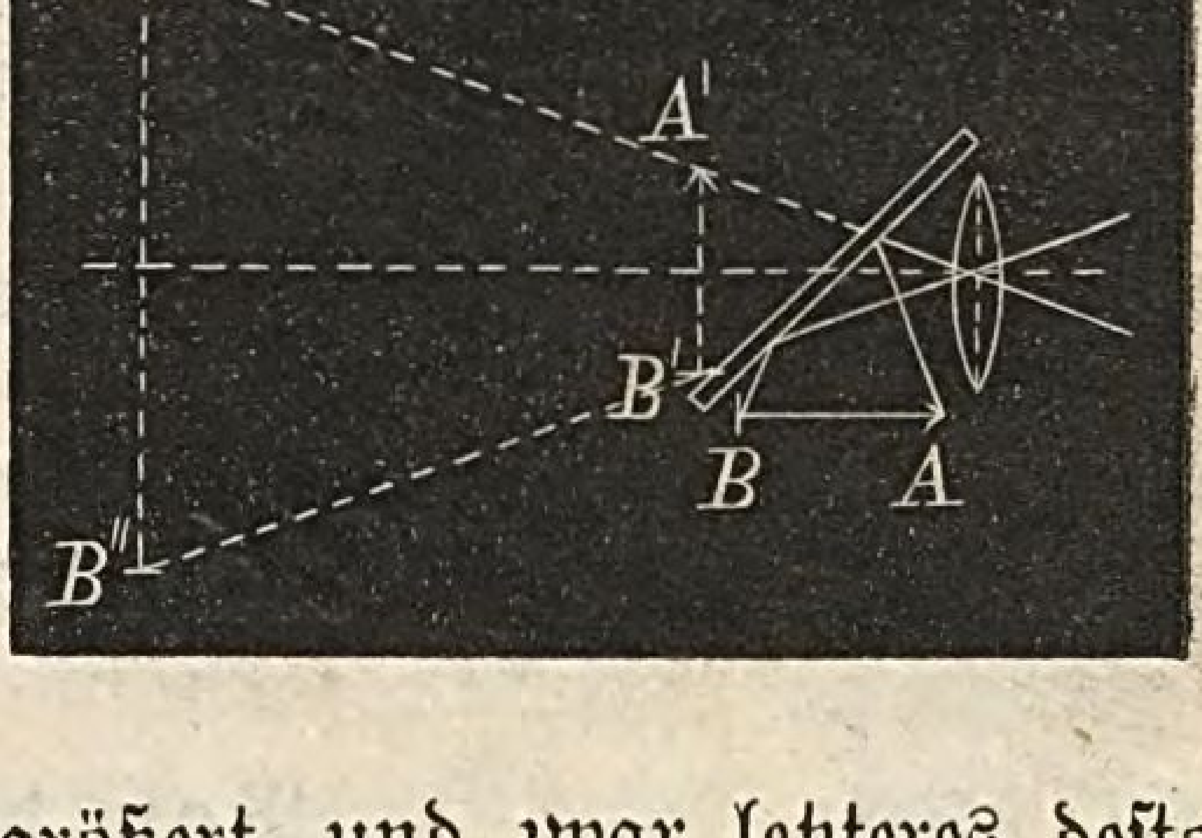
Figur 113.



Sonstige Einrichtung des Instrumentes. — Anwendung des Prismas in Fernröhren statt des Spiegels. — Ein solches Sehen der Gegenstände durch Zurückwerfung der Lichtstrahlen von der Rückseite eines Prismas findet schon bei dem dreiseitigen statt, z. B. wenn man es senkrecht mit den langen Kanten vor einem Auge hält; man sieht die links liegenden Gegenstände rechts und umgekehrt, ohne farbige Säume.

4) Der optische oder perspektivische Kasten (Guckkasten) ist gewöhnlich zusammengesetzt aus einem Konvexglase von großer Brennweite, welches sich in senkrechter Lage befindet, und einem Planspiegel, welcher am oberen Rande des Glases unter 45° Neigung gegen dasselbe, also auch gegen den Horizont, angebracht ist. Das Ganze befindet sich in einem Kasten oder auf einem bloßen Gestelle. Werden Bilder, welche Straßen, Alleen, Städte, Landschaften darstellen, horizontal und in Bezug auf den Zuschauer verkehrt unter den Spiegel gestellt, so erscheinen sie darin, durch das Konvexglas betrachtet, aufrecht und vergrößert. Ein Gegenstand, innerhalb der Brennweite einer Konvexlinse gestellt, erscheint, (§ 167, 4), dem auf der anderen Seite sich befindenden Auge aufrecht und vergrößert, und zwar letzteres desto mehr, je näher der Gegenstand dem Brennpunkte ist. Für senkrecht gestellte Gegenstände bedarf also der perspektivische Kasten nur einer Konvexlinse; sollen aber horizontale Gegenstände wie senkrecht gestellte erscheinen, so muß noch ein Planspiegel in der angeführten Lage angebracht sein. Das horizontale Objekt AB in Figur 114 giebt im Planspiegel das aufrechte Bild A′B′ innerhalb der Brennweite der

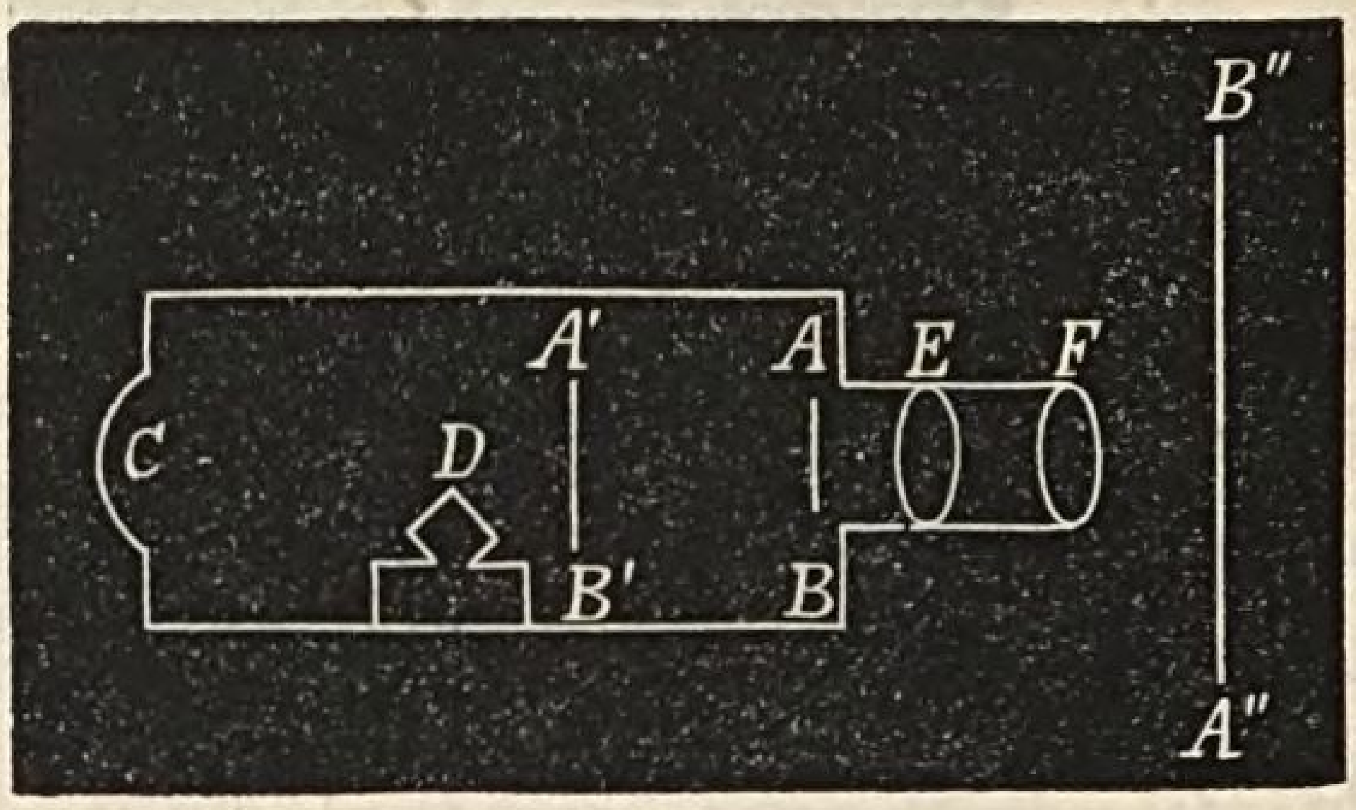
Figur 114.



Linse, durch welche dem Auge dasselbe unter einem größeren Sehwinkel als A″B″ erscheint.

Kosmoramen — Dioramen — Panoramen.

Figur 115.



5) Die von Kircher 1671 beschriebene Laterna magica, Zauberlaterne, ist ein Kasten, gewöhnlich mit zwei Konvexlinsen, einem Konkavspiegel und einer Lampe, in der Anordnung, wie sie Figur 115 ungefähr angiebt. Die Lampe D und der Spiegel C dienen nur zur Beleuchtung des Objektes A B, wie beim Sonnenmikroskope die Sonne und der Planspiegel. Das Objekt befindet sich in der Brennweite, nahe am Brennpunkte der Linse E, welche daher die Lichtstrahlen so bricht, daß das vergrößerte aufrechte Bild A′B′ außerhalb der Brennweite von E entstehen würde, und weil nun die Lichtstrahlen von E auf F so fallen, als kämen sie unmittelbar von A′B′, also von einem außerhalb der Brennweite der Linse F sich befindenden Objekte, so muß dieses Bild auf der andern Seite der Linse F ein umgekehrtes und vergrößertes objektives Bild geben, wie A″B″ — wenn mithin das Objekt A B, hier auf Glas gemalte Bilder, verkehrt vor die Linse E gestellt wird, so muß das Bild B″A″ aufrecht auf einer in gehöriger Entfernung sich befindenden Wand oder einer andern senkrechten Ebene erscheinen. — Nach der Entfernung der das Bild auffangenden Fläche werden die Linsen E und F, die einander mehr oder weniger genährt werden können, gestellt.

Phantasmagorien — Nebel- oder Wandelbilder, die mit zwei gleichen Zauberlaternen an derselben Stelle eines Schirmes oder Vorhanges hervorgebracht werden. — Chromatropen sind Linien- und Farbenspiele, welche mittelst einer Zauberlaterne erzeugt werden, indem in derselben an der Stelle des Objektes zwei runde mit sternförmigen Figuren bemalte und hinter einander angebrachte Glasscheiben nach entgegengesetzten Richtungen gedreht werden.

Achter Abschnitt.

Von der Wärme.

180. Mit dem Worte Wärme im engeren Sinne bezeichnen wir ein gewisses, uns allbekanntes Gefühl, im weiteren Sinne aber die Ursache nicht allein jenes Gefühls, sondern zugleich einer großen Gruppe von hochwichtigen Erscheinungen, welche als Wirkungen der Wärme sich ergeben. Dem Wärmegefühl, welches nur bei Wärmezu-

nahme des Körpers oder einzelner Teile wahrgenommen wird, steht das der **Kälte** gegenüber als Wirkung der Wärmeabnahme.

Taucht man etwa die rechte Hand eine Zeit lang in warmes Wasser, die linke in kaltes, hierauf beide in Wasser von mittlerer Temperatur, so erscheint dasselbe der rechten Hand kalt, der linken dagegen warm.

Für die verschiedenen Grade der Wärme geben zahlreiche Ausdrücke, wie kalt, warm, heiß u. s. w. eine ungefähre Andeutung. Ein sicheres Maß jedoch für einen bestimmten Wärmegrad, die **Temperatur**, kann nur mit Hülfe der Wärmemesser oder Thermometer (§ 183) erhalten werden.

181. Über die Natur der Wärme ist durch die zahlreichen Forschungsresultate der neueren Zeit eine bestimmte Anschauung insofern gewonnen, daß, wie früher schon angedeutet, die Annahme eines **Wärmestoffes**, welche für eine große Zahl von Erscheinungen auf dem Gebiete der Wärmelehre von jeher eine genügende Erklärung nicht gestattete, als eine nicht mehr haltbare Hypothese allgemein aufgegeben worden ist. Dagegen hat die sogenannte **mechanische Wärmetheorie** gegenwärtig in allen wesentlichen Wirkungen der Wärme eine derart sichere Begründung gefunden, daß dieselbe als allgemein gültige Hypothese von der Natur der Wärme betrachtet werden kann. Dieselbe führt die Erscheinungen der Wärme insgesamt auf **Bewegungszustände der Körpermoleküle** zurück, welche auch auf Moleküle des Äthers übergehen können (strahlende Wärme).

Der Erfahrung gemäß übt die Wärme einen entscheidenden Einfluß auf alle Erscheinungen aus, welche von dem gegenseitigen Verhalten der Moleküle und Atome abhängig sind, namentlich auf das **Volumen** der Körper, den **Aggregatzustand**, und auf die **chemischen Eigenschaften** der Stoffe.

1. Von der Veränderung des Volumens der Körper durch die Wärme.

182. **Das Volumen der Körper wird bei zunehmender Wärme vergrößert, bei abnehmender Wärme wiederum verkleinert.** Dabei dehnen sich die luftförmigen Körper am stärksten, die flüssigen wenig stark, und die festen am wenigsten aus, wenn ihre Temperatur um gleiches Maß erhöht wird. Die festen Körper zeigen unter einander bei gleicher Erwärmung sehr verschiedenartige Ausdehnung; dasselbe gilt von den Flüssigkeiten. Die Gase dagegen zeigen alle bei gleicher Erwärmung dieselbe Volumenvergrößerung, vorausgesetzt, daß der Druck derselben sich nicht ändert. Bei Abkühlung kehren alle Körper wieder in dieselben Volumenverhältnisse zurück, welche sie bei der entsprechenden Temperatur vorher besaßen.

Eine Metallkugel, welche durch einen Ring von gleicher Temperatur noch leicht hindurchgeht, bleibt nach Erwärmung auf dem noch nicht erwärmten Ringe liegen; Quecksilber, Wasser, Öl u. s. w. in einem Gefäßchen mit engem Ansatzrohr erwärmt, steigen in dem Rohre auf; ein gleiches Gefäßchen mit Luft gefüllt und umgekehrt mit der Rohrmündung in Wasser getaucht, läßt schon durch Erwärmung mit der Hand zahlreiche Luftblasen austreten. — Umkehrung dieser Versuche. — Das „Schwinden“ des feuchten Thones, des Holzes, wie aller frischen organischen Stoffe bei Erwärmung an der Luft erfolgt nur dadurch, daß diese Stoffe durch reichlichen Wassergehalt ausgedehnt, durch trocknen in der Wärme an Volumen verlieren; durch befeuchten erfolgt bei diesen wiederum auch ohne Änderung der Temperatur ein „aufquellen“; diese Erscheinungen werden also nur indirekt von der Wärme beeinflußt. —

183. Auf der Erfahrung, daß Wärme das Volumen der Körper ändert, und daß man also umgekehrt aus der Änderung des Volumens eines Körpers auf eine Änderung seiner Wärme schließen könne, beruhen die Thermoskope und Thermometer oder Wärmemesser. Zu Thermometern können Körper aus allen Aggregatszuständen genommen werden, doch sind am meisten die Quecksilberthermometer im Gebrauch, weniger die Luft-, Weingeist- und Metallthermometer.

Das Thermometer ist um das Jahr 1630 von Kornelius Drebbel, einem holländischen Landmanne, erfunden worden. Auch Sanktorius, ein berühmter Arzt in Padua, wird oft als Erfinder genannt. Das erste Thermometer war ein Luftthermometer.

Die Metallthermometer sind entweder Metallstangen, die durch ihre Verlängerungen Zunahme und durch ihre Verkürzungen Abnahme der Wärme anzeigen; oder sie sind aus mehreren sich ungleich stark ausdehnenden Metallen zusammengesetzte und schraubenförmig gewundene Streifen, die sich auf- und zudrehen, je nachdem die Wärme zu- oder abnimmt. Bei jenen sind ein Hebel und eine in Grade geteilte Scheibe, bei diesen ein Zeiger und eine solche Scheibe nötig, um die Veränderungen im Volumen der Körper sichtbar zu machen und mit einander hinsichtlich der Größe zu vergleichen. — Die Luftthermometer, am tauglichsten, hohe Temperaturen zu messen, geben immer unsichere Resultate. Eine der gewöhnlichsten Formen derselben ist die, daß eine lange Glasröhre an dem einen Ende offen, am andern umgebogen und mit einer ziemlich großen Kugel versehen ist. Diese Röhre wird mit Quecksilber soweit gefüllt, daß es in der Kugel etwa zur Hälfte steht. Die in der Kugel eingeschlossene, über dem Quecksilber sich befindende Luft dehnt sich bei Zunahme der Wärme aus und bewirkt ein Fallen des Quecksilbers in der Kugel und ein Steigen desselben in der Röhre; bei Abnahme der Wärme findet natürlich genau das Umgekehrte statt. Dieselben Erscheinungen können aber auch durch veränderten Druck der Atmosphäre, das Steigen in der Röhre nämlich durch Abnahme und das Fallen durch Zunahme des Luftdruckes, endlich aber auch durch eine gleichzeitige Änderung im Drucke und in der Wärme der Atmosphäre hervorgebracht werden. Außerdem erleidet auch das Quecksilber, das hier gar nicht die eigentliche

thermoskopische Substanz vorstellt, Ausdehnungen und Zusammenziehungen, die von Einfluß sein können, wenn man auch die verhältnismäßig kleinen des Glases selbst unbeachtet lassen kann. — Die Weingeistthermometer von der Art, wie die bald zu erklärenden Quecksilberthermometer, können nur gebraucht werden, niedere Wärmegrade zu messen, da der Weingeist schon bei etwas hohen Graden verdampft.

184. 1) Die Quecksilberthermometer sind die gebräuchlichsten. Man erhält ein solches Thermometer, wenn man eine wohl kalibrierte enge Röhre mit einer an einem Ende angeblasenen Kugel nimmt; diese und den unteren Teil der Röhre mit Quecksilber füllt, den oberen Teil möglichst luftleer macht und oben zuschmilzt. Bei Zunahme der Wärme dehnt sich das Quecksilber aus, und muß sich nach oben erheben, da es sich, im Rohre eingeschlossen, nach keiner andern Seite hin bewegen kann; bei Abnahme der Wärme zieht es sich zusammen und muß in der Röhre sinken. Um das Steigen und Sinken genau zu bestimmen, muß ein bestimmter Punkt da sein, auf welchen die Bewegungen des Quecksilbers bezogen werden; und um verschiedene Thermometer in dieser Beziehung mit einander zu vergleichen, ist noch ein zweiter Punkt nötig, und beide müssen bei allen Thermometern genau auf dieselbe Art bestimmt werden. Diese zwei Haupt- oder Fundamentalpunkte sind der Eis- oder Gefrierpunkt und der Koch- oder Siedepunkt, von denen man jenen durch eintauchen des Thermometers in schmelzendes Eis oder auftauenden Schnee, diesen durch einsetzen in eine geeignete Vorrichtung erhält, welche mit Wasserdampf von genau 1 Atmosphäre Spannung (760 mm Barometerstand) erfüllt ist.

Die völlig genaue Bestimmung der beiden Fundamentalpunkte, namentlich des Siedepunktes in dieser Art ist sehr umständlich und zeitraubend; daher werden bei weitem die meisten Thermometerskalen mit Hülfe eines auf obige Art erhaltenen „Normalthermometers“ angefertigt. Der Vorzug des Quecksilbers vor andern thermoskopischen Substanzen gründet sich teils auf seine sich fast gleichbleibende Ausdehnung und Zusammenziehung bei höheren und niederen Wärmegraden, teils darauf, daß es während eines großen Temperatur-Wechsels seinen flüssigen Aggregatszustand behält, da es einer schon bedeutend hohen Temperatur zur Verwandlung in Gas (+ 250° C.), und einer nicht unbedeutend niedrigen Temperatur zur Verwandlung in einen festen Körper (— 40° C.) bedarf.

2) Die Quecksilberthermometer unterscheiden sich von einander lediglich dadurch, daß nicht bei allen die Fundamentalentfernung, d. i. der Raum zwischen dem Eispunkte und dem Siedepunkte, in dieselbe Anzahl gleicher Teile, welche Grade heißen, geteilt wird. Auf dem Teile der Röhre unter dem Eispunkte, sowie über dem Siedepunkte werden so große Grade, als sie die Fundamentalentfernung enthält, aufgetragen. Die Grade über dem Eispunkte heißen Wärmegrade, die unter demselben Kältegrade; jene werden in der Schrift mit +, diese mit — bezeichnet. Die Einteilung, Skala genannt, wird entweder in die Glasröhre mit Flußspatsäure eingeätzt, auch eingeschliffen,

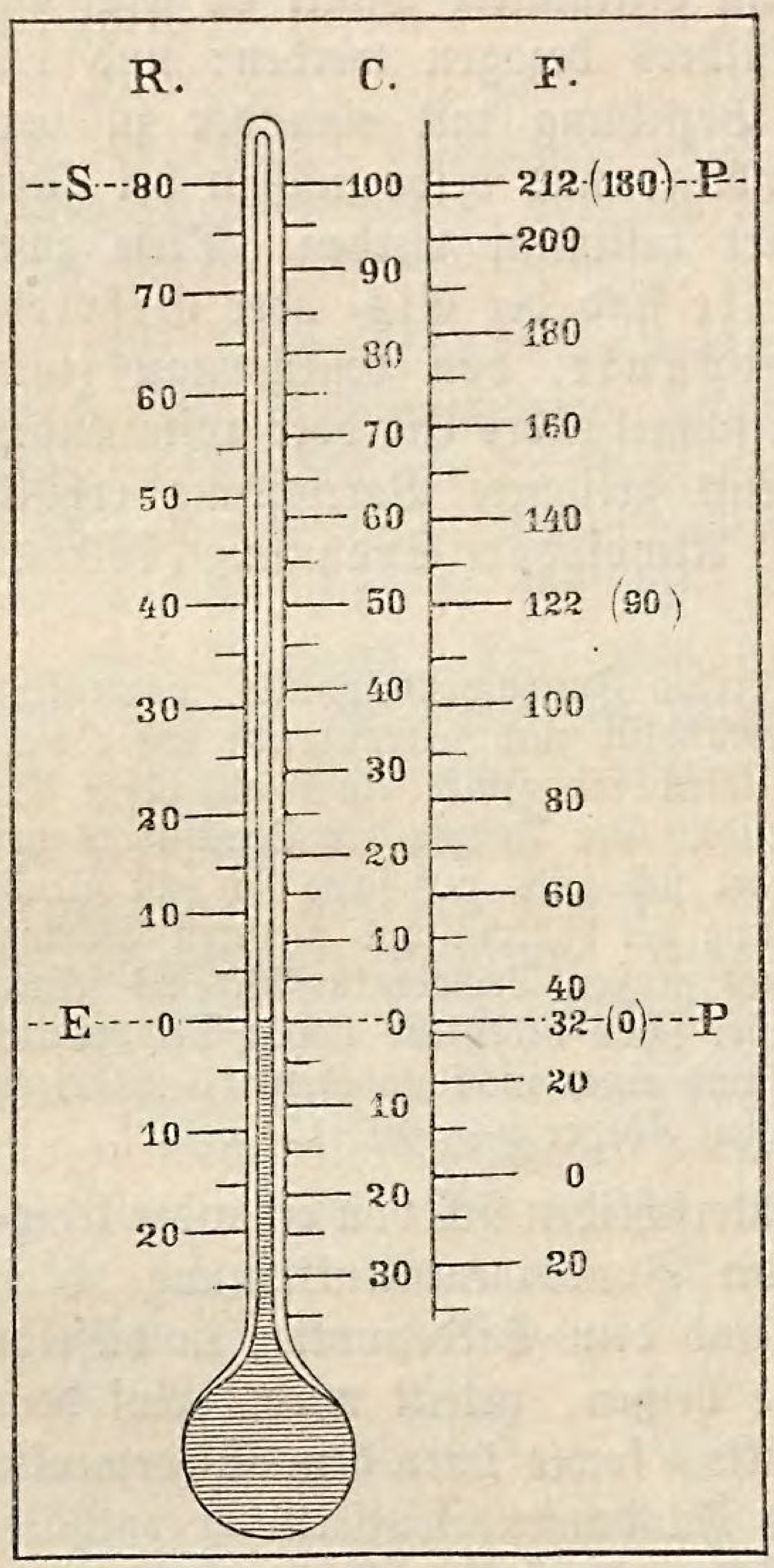
oder sie ist auf einem besondern Glas-, Metall- oder Holzstreifen, auf welchem die Röhre befestigt ist, aufgetragen oder gar auf Papier gezeichnet, welches sich in einer anderen weiteren, die Thermometerröhre umgebenden Glasröhre befindet.

3) Wir merken uns hier von den Quecksilberthermometern die drei gebräuchlichsten Arten:

a) Das Réaumursche oder das Thermometer mit der achtzigteiligen Skala, vorzüglich in Deutschland gebräuchlich. Der Eispunkt ist mit 0, der Siedepunkt mit 80 bezeichnet. +18° R. heißt: 18 Grade Wärme nach Réaumur, so wie —18° R.: 18 Grade Kälte nach Réaumur.

b) Das Celsiussche oder Centesimalthermometer, oder das Thermometer mit der hundertteiligen Skala, hat am Eispunkte 0, am Siedepunkte 100 stehen. +18° C. Diese hundertteilige Skala, ursprünglich in Schweden und Frankreich vorzugsweise gebraucht, ist gegenwärtig allgemein auch in den Wissenschaften eingeführt und dürfte mit der Zeit die anderen Teilungen ganz verdrängen.

Figur 116.



c) Das in England vorzugsweise gebrauchte Fahrenheitsche, dessen Fundamentalentfernung 180 Grad hat, welches aber am Eispunkte nicht mit 0, sondern mit 32, am Siedepunkte nicht mit 180, sondern mit 212 bezeichnet ist. Es giebt nämlich auf dieser Skala zwei Gefrierpunkte, einen natürlichen, der mit dem Nullpunkte der beiden vorhergehenden Skalen zusammenfällt, weil er auf dieselbe Art bestimmt worden ist, und einen künstlichen, als denjenigen Punkt, bis zu welchem das Quecksilber sinkt, wenn das Thermometer in eine sogenannte Kältemischung aus Schnee und Salmiak getaucht wird, und welcher 32 Grade dieser Skala unter dem natürlichen Eispunkte liegt. Vom künstlichen Eispunkte fängt man bei dieser Skala an zu rechnen; er ist daher mit 0, der natürliche aber mit 32, und der Siedepunkt mithin mit 32 + 180 = 212 bezeichnet. Dieses Thermometer war, wie das von Réaumur, ursprünglich ein Weingeistthermometer.

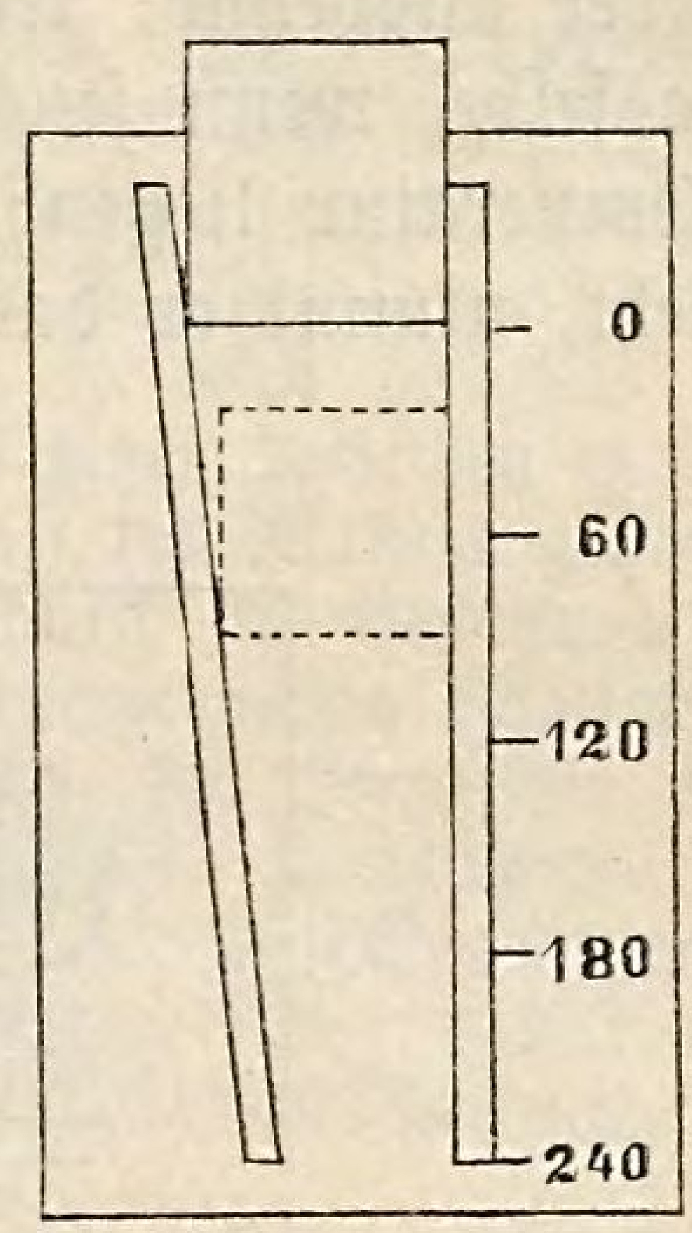
4) Man muß es verstehen, die Grade einer Skala in die einer anderen zu verwandeln. Da der Abstand zwischen dem Gefrierpunkte und dem normalen Siedepunkte des Wassers nach Réaumur in 80°, nach Celsius in 100°, nach Fahrenheit in 180° geteilt ist., so sind 80 Réaumurgrade dem Werte nach 100 Celsiusgraden und 180 Fahrenheitgraden gleich, oder 1 Réaumurgrad ist $\frac{5}{4}$ Celsiusgraden, $\frac{9}{4}$ Fahrenheitgraden gleich. Da jedoch die Skala Fahrenheits am Eispunkte die Zahl + 32 trägt, so ist die Temperatur $\pm$ t° F. = ($\pm$ t — 32) Fahrenheitgraden über dem gemeinsamen Nullpunkte der beiden anderen Skalen, oder dem gemeinsamen Eispunkte der drei Skalen. Hiernach lassen sich die Umwandlungen von Temperaturangaben der drei Thermometerskalen in einander für alle Fälle nach einer der drei Formeln bewirken:

$$\pm t^0 R. = \pm \frac{5}{4} t^0 C. = (\pm \frac{9}{4} t + 32)^0 F.$$
$$\pm t^0 C. = \pm \frac{4}{5} t^0 R. = (\pm \frac{9}{5} t + 32)^0 F.$$
$$\pm t^0 F. = \frac{4}{9} (\pm t - 32)^0 R. = \frac{5}{9} (\pm t - 32)^0 C.$$

Figur 116 zeigt ein Thermometer, bei welchem die drei Skalen zur Vergleichung auf einer Tafel vereinigt sind. Die neben der Skala von Fahrenheit stehenden drei Zahlen, (0), (90), (180) deuten die bei der Berechnung maßgebenden Teilpunkte an.

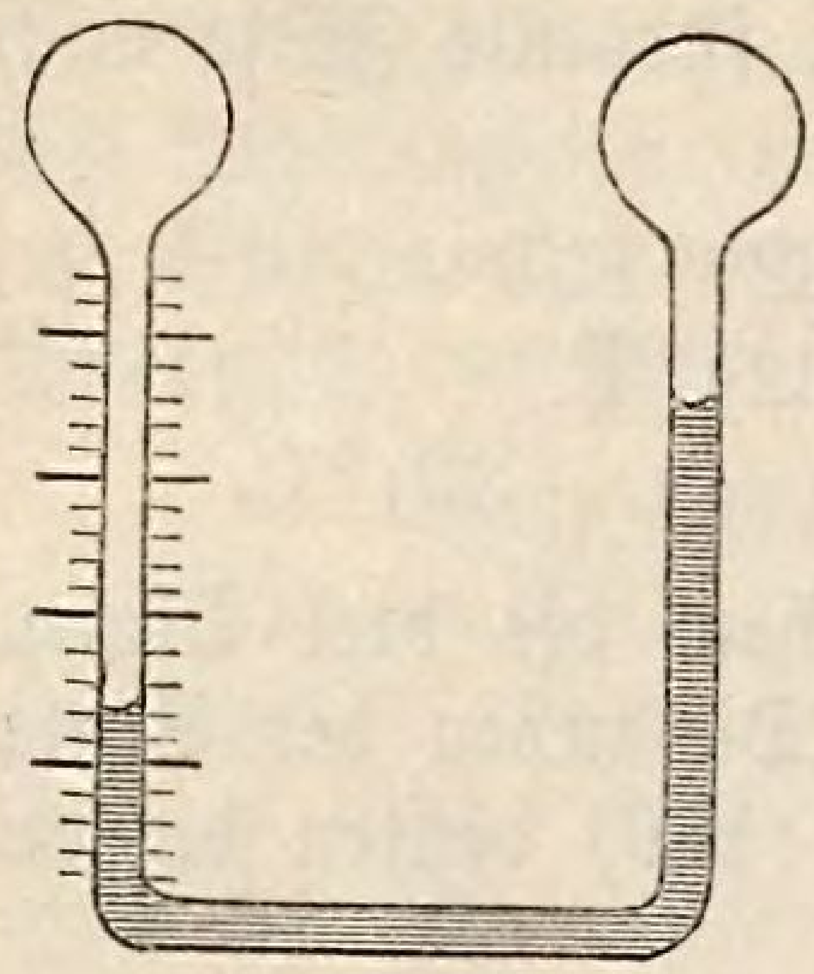
185. 1) Zur Bestimmung sehr hoher Grade von Hitze, wie in den Brennöfen der Steingut- und Porzellanfabriken, dienen die Pyrometer, Feuermesser oder Glutmesser, von denen das Wedgwoodsche Thonpyrometer (Fig. 117) das bekannteste ist. Die pyrometrische Substanz ist der Thon, der nicht allein im feuchten Zustande durch trocknen schwindet (§ 182, 3), sondern auch im völlig getrockneten Zustande bei Glühhitze durch ferneres zusammenrücken der Teilchen in Folge Erweichung eine oft starke Schwindung (Sinterung) erleidet. So lange der Thon von seinem Schmelzpunkte weit genug entfernt bleibt, nimmt man die Größe der Schwindung der Größe der Erhitzung proportional an. Kleine Würfel von solcher Größe, daß sie bei Rotglühhitze 13 mm zur Seitenlänge erhalten, werden der zu prüfenden Hitze ausgesetzt, und nach erfolgter Abkühlung zwischen zwei etwa 157 mm lange Metallstäbe, die so konvergent gegen einander liegen, daß sie an dem einen Ende um 13 mm, an dem anderen aber nur um 8 mm von einander entfernt sind, geschoben. Je weiter jene sich hineinschieben lassen, einer desto größern Hitze müssen sie ausgesetzt gewesen sein. Die Skala auf den Metallstäben enthält 240 Grade Der Nullpunkt ist die Rotglühhitze, d. i. 464° R. = 580° C. = 1076° F., und jeder Grad des W. Pyrometers ist = 58° R. = 72,5° C. = 130,5° F. Die Resultate dieses

Figur 117.



Pyrometers sind indessen insofern unzuverlässig, als Thon, einer gelinden Hitze lange ausgesetzt, sich eben so stark zusammenzieht, als wenn er einer starken Hitze kurze Zeit ausgesetzt wäre; auch ist es schwierig, Thonwürfel oder Cylinder — wie W. später vorschlug — von derselben Masse, daß sie sich genau in demselben Maße ändern, zu erhalten. — Andere Pyrometer beruhen darauf, daß verschiedene Metalle, wie Stahl und Messing, oder Platina mit Gold und Silber sich verschieden ausdehnen und dadurch einen Zeiger in Bewegung setzen. Ferner Pouillets Luftpyrometer.

Figur 118.

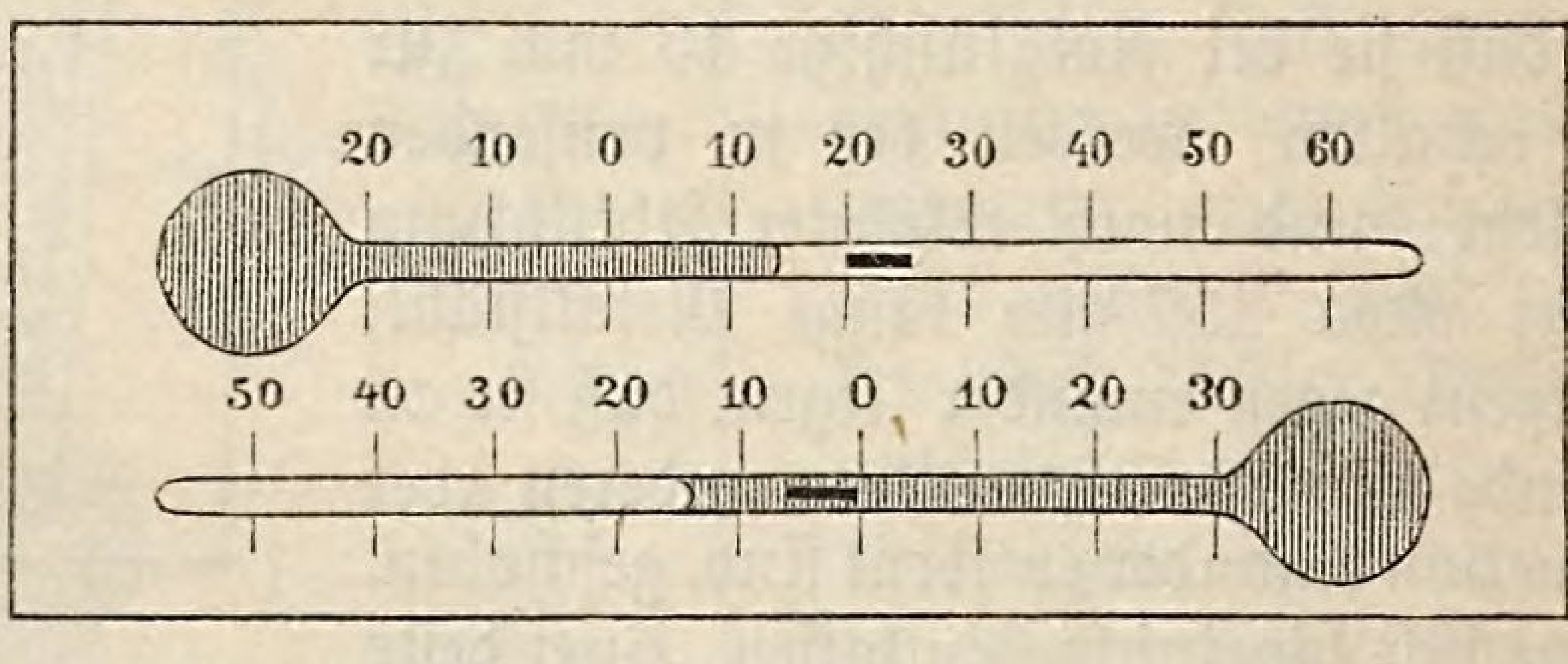


2) Um kleinere Veränderungen in der Wärme zu messen, dienen das Thermoskop von Rumford und das Differentialthermometer von Leslie (Figur 118), deren thermoskopische Substanz Luft ist, und die insofern den Luftthermometern beigezählt werden müssen.

Unser Gefühl ist ein sehr unsicheres Thermoskop. — Ein und dasselbe Wasser erscheint uns verschieden warm, je nachdem wir einen gewöhnlich bedeckten oder unbedeckten Teil des Körpers hineintauchen. Kranke und Gesunde urteilen verschieden über die Wärme eines und desselben Zimmers; Keller halten wir im Winter für wärmer als im Sommer.

3) Das Maximumthermometer hat die Bestimmung, den höchsten, so wie das Minimumthermometer den tiefsten Temperaturgrad während eines gewissen Zeitraumes, auch nach Verlauf desselben, anzuzeigen. Diese Thermometer, welche auch Thermometrographen heißen, liegen horizontal; jenes ist mit Quecksilber, dieses mit Weingeist gefüllt; in jenem befindet sich ein Cylinderchen von Eisen oder Fischbein, in diesem von Glas. Wenn sich in jenem das Quecksilber ausdehnt, treibt es das eiserne Cylinderchen vor sich und läßt dasselbe, wenn jenes sich wieder zurückzieht, an der Stelle der höchsten Temperatur liegen; wenn sich aber in diesem der Weingeist zusammenzieht, nimmt er das gläserne Cylinderchen mit sich, wegen der großen

Figur 119.



Adhäsion zwischen Glas und Weingeist, und wenn er sich darauf wieder ausdehnt, läßt er es, darüber weggehend, an der Stelle der niedrigsten Temperatur liegen. Figur 119 zeigt Maximum- und Minimumthermometer vereinigt.

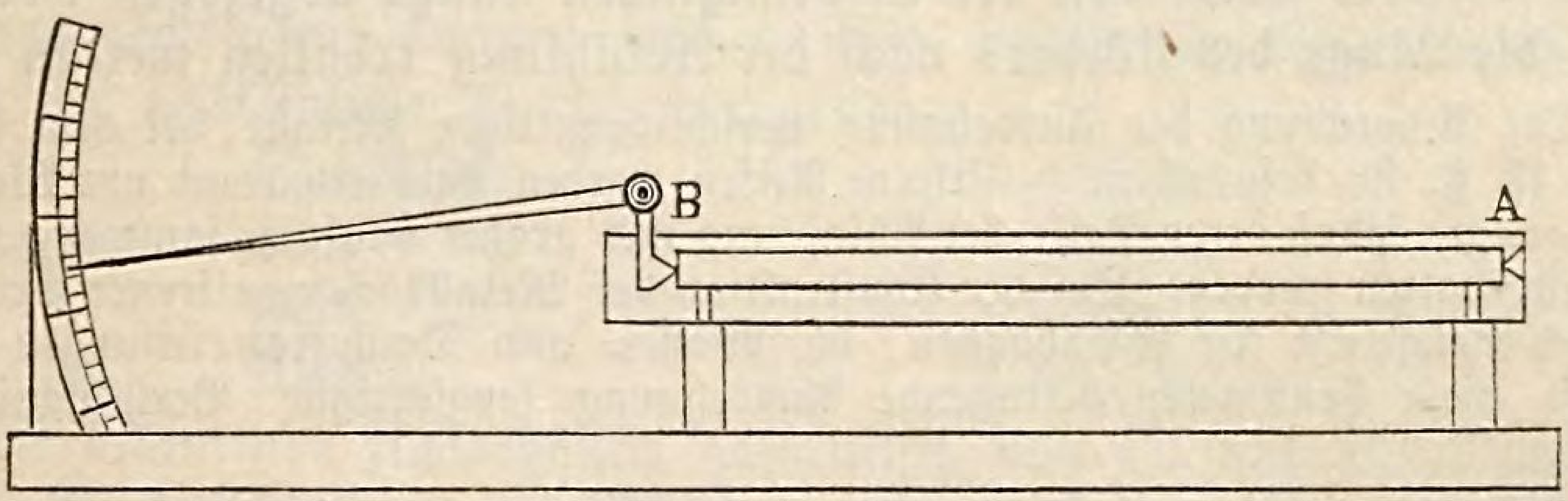
Thermometrographen zur Bestimmung der Temperatur in verschiedenen Tiefen des Meeres. Geothermometer.

186. Mit Hülfe der Thermometer lassen sich nun auch die Gesetze ergründen, nach welchen die Veränderungen der Körper durch Erhöhung und Erniedrigung des Wärmegrades erfolgen. Die genaue Kenntnis der Ausdehnung, ihrer Größe nach, ist von Bedeutung bei den meisten wissenschaftlichen Messungen, sowie in zahlreichen Fällen des praktischen Lebens.

Bei festen Körpern kommt vorzugsweise die Veränderung der linearen Dimensionen in Betracht. Die Zahl, welche ausdrückt, um wie viel die Längeneinheit eines Körpers, bei 0° gemessen, sich ausdehnt durch Erwärmung um 1° C. wird der lineare Ausdehnungs-Koefficient genannt.

Zur Bestimmung des linearen Ausdehnungs-Koefficienten kann die in Figur 120 angedeutete Vorrichtung dienen. Der zu prüfende stabförmige Körper liegt horizontal auf zwei Stützen in einem Metallgefäße, an einem Ende A gegen einen festen Stützpunkt, am anderen B gegen den kurzen Arm eines sehr ungleicharmigen Winkelhebels stoßend, dessen langer Arm einen vor einer Kreisteilung spielenden Zeiger bildet. Die Drehungsachse ist nach einer Seite hin verlängert, steht mit

Figur 120.



der Wandung des Gefäßes selbst nicht in Verbindung, und trägt erst außerhalb desselben Stützpunkt und Zeiger. Das Gefäß wird zunächst mit schmelzendem Eis gefüllt, und der Zeiger solange beobachtet, bis derselbe eine feste Stellung an einem Punkte der Skala zeigt, d. h. bis der Stab die Temperatur 0° angenommen hat. Ist nun die Entfernung AB festgestellt, so wird das Eis entfernt, durch heißes Wasser teilweise ersetzt, und durch Erhitzen desselben in dem nun lose zugedeckten Gefäße das Ganze auf den Siedepunkt des Wassers gebracht. Die hierdurch bewirkte Verlängerung des Stabes wird durch die Bewegung des Zeigers angezeigt. Ist das Verhältnis der beiden Hebelarme genau bekannt, so läßt sich die Verlängerung a des Stabes A B berechnen. Bei normalem Luftdrucke wird die Erwärmung des Stabes auch genau gleich 100° C. betragen. Ist in diesem Falle die Länge A B des Stabes bei 0° gleich l mm, seine Verlängerung durch Erwärmung um 100° gleich a mm, so ist die Ausdehnung von 1 mm, bei Erwärmung um 1° C., wenn α den linearen Ausdehnungs-Koefficienten bezeichnet: $\alpha = \frac{a}{l.100}$. Betrug die Erwärmung anstatt 100° etwa t° C., so ist:

$$\alpha = \frac{a}{l.t}.$$

Für einige feste Körper gelten folgende Zahlen als Werte für den Ausdehnungs-Koefficienten:

Glas	0,000009	Silber . . .	0,000019
Platin	0,000009	Zinn . . .	0,000022
Gußeisen und weicher Stahl .	0,000011	Blei . . .	0,000028
Schmiedeeisen u. harter Stahl	0,000012	Zink, gegossen	0,000029
Kupfer	0,000017	Zinkblech . .	0,000033
Messing	0,000019	Eis	0,000052

Streng genommen gelten diese Zahlen nur innerhalb der Temperaturgrenzen, in denen sie bestimmt worden sind (meist zwischen 0° und 100° C.); bei höheren Temperaturen erleiden dieselben oft sehr erhebliche Änderungen, so daß sie zu pyrometrischen Messungen nicht angewendet werden können. Bis zu 100° jedoch, bei einigen Körpern auch bis zu 200—300° C., sowie innerhalb nicht zu hoher Kältegrade, kann die Ausdehnung proportional der Anzahl der Centesimalgrade angenommen werden, um welche die Erwärmung erfolgte. Bezeichnet daher α den Ausdehnungs-Koefficienten, l die ursprüngliche Länge des Körpers und a die Verlängerung durch Erwärmung um t° C., so ist

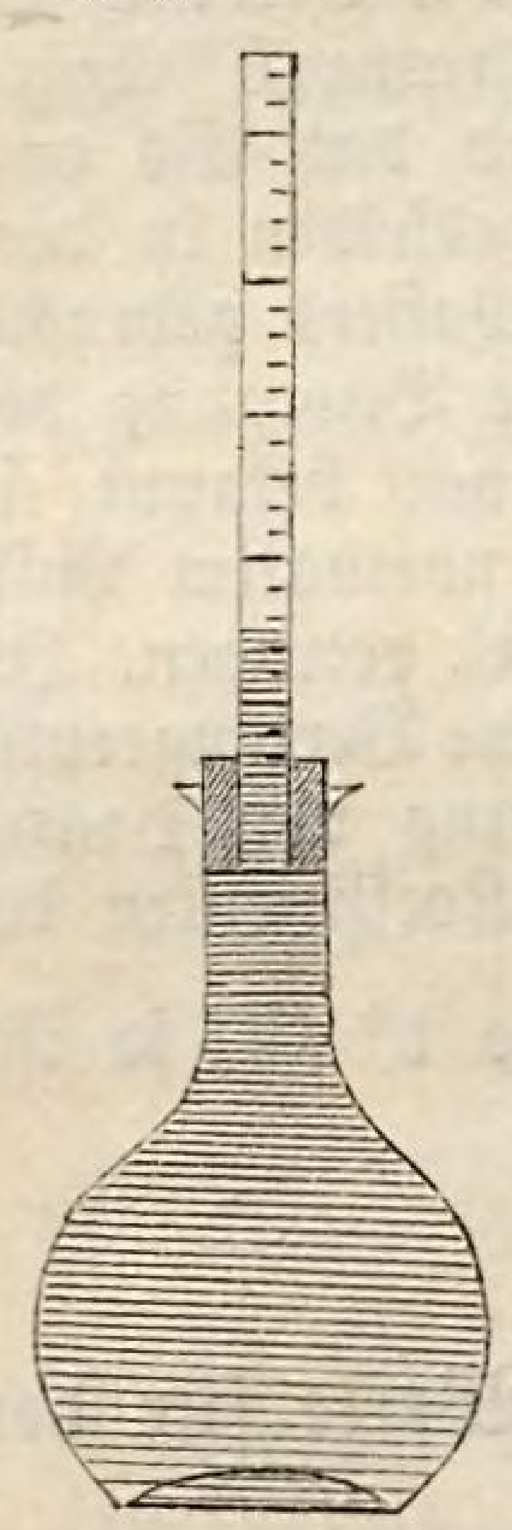
$$a = l.t.\alpha$$

Dieser Wert ist zu der ursprünglichen Länge zu addieren, wenn die Länge nach der Erwärmung erhalten werden soll. Bei Berechnung der Verkürzung durch Abkühlung um t° C. kann ohne erheblichen Fehler derselbe Wert von der ursprünglichen Länge abgezogen werden, wenn die Länge des Körpers nach der Abkühlung erhalten werden soll.

Die Anwendung der Ausdehnung verschiedenartiger Metalle bei dem Rastpendel ist §. 98 besprochen. — Eiserne Reifen werden stark erwärmt um Wagenräder gelegt, sodaß deren Teile bei Abkühlung mit großer Kraft zusammengezogen und festgehalten werden. Bei der Konstruktion der Metalldächer, eiserner Brücken, der Schienengeleise für Eisenbahnen, bei Wasser- und Dampfrohrleitungen muß die oft viele Centimeter betragende Ausdehnung sorgfältigste Berücksichtigung erfahren.

Die Zahl, welche ausdrückt, um wie viel die Kubikeinheit eines Körpers sich ausdehnt bei Erwärmung um 1° C., wird der kubische Ausdehnungs-Koefficient genannt.

Figur 121.



Bei festen Körpern kann der kubische Ausdehnungs-Koefficient dem dreifachen Werte des linearen gleichgesetzt werden. Der hierbei gemachte Fehler ist in den meisten Fällen kleiner, als die Genauigkeit, mit welcher man kubische Messungen praktisch auszuführen vermag. Bei flüssigen Körpern kommt ausschließlich die kubische Ausdehnung in Betracht. Zur Messung derselben wendet man hier ein kleines Gefäß (Figur 121) mit genau kalibriertem Ansatzrohre an, dessen Teilung nach Raumeinheiten erfolgt ist. Ist das Gefäß bis in den unteren Teil des Rohres mit einer Flüssigkeit bei 0° gefüllt, so wird bei Erwärmung stets die Flüssigkeit im Rohre steigen, welcher Art auch die Flüssigkeit und das Material des Gefässes sein mag. Der Rauminhalt

des Rohres, von dem Stande der Flüssigkeit bei 0° bis zum Stande derselben bei t° C. wird die **scheinbare Ausdehnung** genannt; zu dieser muß noch die Erweiterung des Gefässes bei derselben Erwärmung addiert werden, um die **wahre Ausdehnung** zu erhalten.

Ist das Volumen der Flüssigkeit, mithin auch der Gefäßinhalt bei 0° gleich c Einheiten, so ist die Erweiterung des Gefäßes selbst bei Erwärmung um t° C. gleich c . t . 3 α' Einheiten, wenn α' den linearen Ausdehnungs-Koefficienten des Gefäßmaterials (Glas) bedeutet. Beträgt die scheinbare Ausdehnung in diesem Falle γ Einheiten, so ist die wahre Ausdehnung $a = \gamma + c \cdot t \cdot 3\,\alpha'$, so ist der Ausdehnungs-Koefficient der Flüssigkeit

$$\alpha = \frac{a}{c\,.\,t} = \frac{\gamma + c\,.\,t\,.\,3\,\alpha'}{c\,.\,t}.$$

Unter den Flüssigkeiten zeichnet sich das Quecksilber durch Regelmäßigkeit der Ausdehnung aus, d. h. seine Ausdehnung ist innerhalb weiter Grenzen der Erwärmung annähernd genau proportional. Erst in der Nähe seines Gefrierpunktes (— 39° C.), sowie seines Siedepunktes (+ 350° C.) treten erhebliche Unregelmäßigkeiten ein. Im allgemeinen ist die Ausdehnung der Flüssigkeiten eine sehr unregelmäßige. Das Wasser zeigt sogar bei Erwärmung von 0° bis + 4° C. eine Verminderung des Volumens, so daß es bei +4° C. das Maximum seiner Dichtigkeit besitzt; erst von hier ab dehnt es sich bei weiterer Erwärmung aus derart, daß mit steigender Temperatur der Ausdehnungs-Koefficient immer größer wird. Als Durchschnittszahlen können für gewöhnliche Temperatur gelten:

Quecksilber	0,000180
Wasser	0,000430
Fette Öle	0,000850
Alkohol	0,001180.

Die bedeutende Ausdehnung namentlich von Öl und Spiritus erfordert Berücksichtigung bei Füllung von Fässern, die aus kühlen Räumen in wärmere gelangen.

Die gasförmigen Körper zeigen innerhalb weiter Temperaturgrenzen eine sehr regelmäßige Ausdehnung. Der Ausdehnungs-Koefficient ist bei allen Gasen derselbe, nämlich gleich

$$0{,}003665 = \frac{1}{273}$$

des Volumens, welches das Gas bei 0° besitzt, Durch Erwärmung von 0° bis 273° C. wird also jedes Gas auf das Doppelte seines Volumens sich ausdehnen, vorausgesetzt, daß der Druck desselben unverändert bleibt. Wäre das Gas in einem Gefäße von unveränderlichem Volumen dicht verschlossen, so würde dasselbe bei Erwärmung um 273° C. den doppelten Druck annehmen. Überhaupt ist die Spannung eines Gases, dessen Volumen sich nicht ändern kann, dem Mariotte'schen Gesetze entsprechend, der Raumgröße direkt proportional, welche dasselbe durch Änderung der Temperatur bei unveränderlichem Drucke eingenommen hätte. Die genaue Bestimmung des Ausdehnungs-Koefficienten der Gase erfordert die Berücksichtigung so zahlreicher

Nebenumstände, daß die Thatsache der Übereinstimmung in der Ausdehnung aller Gase erst in den letztvergangenen Decennien, namentlich durch Gay=Lüssac, Regnault u. A. mit Sicherheit festgestellt werden konnte.

2. Von der Verbreitung der Wärme.

187. Die Wärme zeigt das Bestreben, alle Temperaturunterschiede, sowohl innerhalb eines Körpers als auch bei verschiedenen sich berührenden Körpern, unter Umständen auch bei völlig getrennten, selbst weit entfernten Körpern, möglichst auszugleichen. Diese Ausgleichung der Temperatur kann in dreifacher Weise erfolgen: durch Leitung, Strömung und Strahlung.

1) Die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung kann bei allen Körpern ohne Ausnahme erfolgen, jedoch zeigen sich bei den verschiedenen Körpern sehr große Unterschiede in der Geschwindigkeit, mit welcher die Wärme innerhalb derselben fortschreitet. Hiernach unterscheidet man gute und schlechte Wärmeleiter, je nachdem die Leitung schneller oder langsamer erfolgt. Unter den festen Körpern, deren Leitungsvermögen allgemein größer ist, als das der Flüssigkeiten und der Gase, zeichnen sich die Metalle als gute Wärmeleiter besonders aus, doch ist auch unter diesen noch die Verschiedenheit sehr groß. Wird nach den Versuchen von Wiedmann und Franz das Leitungsvermögen des Silbers durch die Zahl 1000 ausgedrückt, so ergeben sich für die wichtigsten Metalle folgende Verhältnißwerte:

Silber	1000	Zinn	145
Kupfer	736	Eisen	119
Gold	532	Blei	85
Messing	236	Platin	84
Zink	190	Wismut . . .	18.

Bei den übrigen festen Körpern ist das Leitungsvermögen meistens erheblich geringer; den Metallen schließen sich Porzellan, Glas und die dichten Gesteine noch am nächsten an mit ungefähren Werten von 20—10 im Verhältnis zu Silber = 1000. Als schlechteste Wärmeleiter gelten ruhende Luft, und daher alle lockeren porösen Körper, lockere Erde, Schnee, sowie die dem Pflanzen= und Tierreiche entstammenden Stoffe, wie Holz, Stroh, Heu, die pflanzlichen Gewebsfasern, Haare, Wolle, Federn. Obgleich das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten ein äußerst geringes ist, so können dieselben als schlechte Wärmeleiter doch nur angewendet werden, wenn dieselben in völliger Ruhe sich befinden, was in Folge der großen Beweglichkeit ihrer Teilchen nur bei völlig gleichmäßiger Erwärmung von oben nach unten möglich ist. Daher sind nur dickflüssige Körper für jede Richtung, in der die Leitung erfolgen mag, als schlechte Verbreiter der Wärme anzusehen. Völlig bewegliche Flüssigkeiten können nur in aufrecht stehenden röhrenförmigen Gefäßen ohne

erhebliche Schwierigkeiten durch erwärmen von oben her einigermaßen in Ruhe erhalten werden. In viel höherem Maße treten diese Umstände noch bei den Gasen auf, daher die porösen, festen oder pulverigen Körper in möglichst lockerem Zustande für den praktischen Gebrauch als schlechteste Wärmeleiter am geeignetsten sind.

Genaue Messungen des Leitungsvermögens der Körper sind mit großen Schwierigkeiten verknüpft, da mehrfache schwer zu beseitigende Umstände hierbei störend einwirken. Zur Veranschaulichung des verschiedenen Leitungsvermögens können, außer vielen Fällen im täglichen Leben, folgende Versuche und Beobachtungen dienen: Runde Stäbe von gleicher Dicke aus verschiedenen Materialien, etwa Kupfer, Eisen, Glas, mit einer Wachs- oder Paraffinschicht überzogen, und gleichzeitig mit einem Ende (welches keinen derartigen Überzug hat) etwa in eine Flamme oder in heißes Wasser (Apparat von Ingenhouß) gebracht, zeigen in kurzer Zeit bedeutende Unterschiede in der Länge des Teiles, bei welchem der Überzug geschmolzen ist; die Geschwindigkeit, mit welcher bei jedem Stabe die Schmelzung fortschreitet, nimmt immer mehr ab, je weiter die Stelle, welche die Temperatur des Schmelzpunktes hat, von dem erhitzten Ende sich entfernt. — Wird ein dünnwandiges, unten geschlossenes Glasrohr (Reagierglas), mit kaltem Wasser nicht ganz gefüllt und mit seinem obersten Teile, soweit das Wasser noch geht, in eine Flamme gehalten, so kann das Wasser oben leicht zum Sieden gebracht werden, ohne daß eine Erwärmung am unteren Ende wahrnehmbar wird. — Schlechte Wärmeleiter halten sowohl warme Körper warm, wie auch kalte Körper kalt.

Betten, Pelze, wollene Kleider u. s. w. halten uns warm. Hölzerne, mit Stroh gedeckte Lehmhütten sind im Winter wärmer, als gemauerte, mit Schindeln gedeckte Häuser; metallene Geschirre werden mit hölzernen Griffen versehen; Bäume, Weinreben und Wasserpumpen werden im Winter mit Stroh umwickelt; vor die Kellerfenster wird Stroh oder Mist gelegt; die Eisgruben werden mit Holz ausgeschlagen; eiserne Öfen haben vor den Ziegel- und Kachelöfen den Vorzug, wenn es sich um schnelle Heizung handelt; diese aber vor jenen, wenn die Heizung lange andauern soll; der Nutzen der Doppelfenster; wenn der Müller, sobald die erste Eisdecke gefroren ist, einen Teil des Wassers abfließen läßt, entsteht zwischen der Eisdecke und dem übrigen Wasser eine Luftschichte, welche das fernere Gefrieren desselben hindert. Ein Räucherkerzchen, auf Holz gelegt, brennt ganz aus, nicht aber, wenn es auf Metall liegt; glühende Kohlen kann man in der Hand auf untergestreuter Asche tragen; um ein auf einen warmen Ofen gestelltes Glas vor dem Zerspringen, was Folge der ungleich großen Ausdehnung des unteren wie des oberen Teiles ist, zu schützen, legt man Papier unter; man kann Wasser in papiernen, aber nicht in hölzernen Gefäßen kochen, so wie Blei auf einer Spielkarte schmelzen; auch schmilzt ein zinnener Löffel, so lange Wasser darin ist, nicht. Von zwei gleich kalten Körpern erscheint uns der bessere Leiter, weil er uns die Wärme schneller entzieht, kälter; daher das ungleiche Gefühl, wenn man die Finger in Wasser und Quecksilber von derselben Temperatur steckt; daher scheint auch der eiserne Nagel im Fußboden kälter zu sein, als das ihn umgebende Brett, wenn wir beide gleichzeitig mit der Hand oder mit dem nackten Fuße berühren.

2) Die Verbreitung der Wärme in flüssigen und luftförmigen Körpern unterscheidet sich von der in festen Körpern, wenn sie von unten erwärmt werden, vornehmlich dadurch, daß nicht blos jeder erwärmte Teil allen ihn berührenden Teilen Wärme auf gewöhnliche Weise, wenn auch nur langsam, mitteilt, sondern daß auch die unteren Schichten, welche zunächst erwärmt und dadurch spezifisch leichter geworden sind, sich erheben, und indem sie die oberste Stelle zu gewinnen

suchen, die ganze Flüssigkeit erwärmen. Die dadurch in der Flüssigkeit entstandene Strömung läßt sich sichtbar machen, wenn man in Glasgefäßen Wasser, in welches Sägespäne oder Bernsteinstücke gelegt worden sind, vorsichtig erwärmt.

Eine niedrige Stube heizt sich leichter, als eine hohe; in jeder geheizten Stube nimmt die Wärme mit der Höhe zu; durch die Luftströmung nach oben kann man auf einem geheizten Ofen zweckmäßig eingerichtete und aufgestellte Körper in Kreisbewegung setzen; Luft- und Wasserheizungen; die Flamme eines brennenden Lichtes, in der geöffneten Thür eines geheizten Zimmers gehalten, wird oben nach außen, unten nach innen geblasen, während sie etwa in der Mitte die senkrechte Lage annimmt; die großartigen Luft- und Meeresströmungen, welche in der ungleichartigen Erwärmung der Erdoberfläche ihren Ursprung haben, spielen eine überaus große Rolle bei der Verbreitung der Wärme auf der gesammten Oberfläche der Erde. (§. 192.)

3) Die Leitung der Wärme geschieht durch alle Körper ohne Ausnahme, wenn auch mit verschiedener Geschwindigkeit; die Strahlung geschieht nicht nur durch die Luft, wie man sonst glaubte, und zwar ohne sie zu erwärmen, sondern auch durch viele andere Körper, wie neuere Entdeckungen, besonders die von Melloni, beweisen. Die Hauptsätze über die strahlende Wärme, die fast in allen Beziehungen mit dem Lichte übeinstimmt, sind etwa folgende:

a. Die Wärmestrahlen, welche einen Körper treffen, werden teils von seiner Oberfläche zurückgeworfen, teils dringen sie durch ihn durch, teils endlich werden sie von dessen Materie absorbiert. Man spricht daher bei einem Körper in Bezug auf die strahlende Wärme außer von seinem Ausstrahlungs- oder Emissionsvermögen überhaupt auch noch von seinem Zurückwerfungs- oder Reflexionsvermögen, von seinem Durchlassungs- oder Transmissionsvermögen und von seinem Eindring- oder Absorptionsvermögen.

b. Die Fortpflanzung der strahlenden Wärme geschieht in geraden Linien, wie die des Lichtes, denn ein zwischen die Kugel eines Differentialthermometers und ein erwärmtes Metall gebrachtes Schirmchen verhindert die Bewegung der Flüssigkeit, welche aber sofort bei Wegnahme desselben erfolgt. Wir sprechen daher von Wärmestrahlen wie von Lichtstrahlen. Die Geschwindigkeit der Wärmestrahlen ist gleich der Geschwindigkeit der Lichtstrahlen, und auch die Intensität der Wärmestrahlen ist umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung von der Wärmequelle.

c. Einen sehr merkwürdigen Einfluß auf das Ausstrahlungsvermögen der Körper hat außer der Temperatur die Beschaffenheit der Oberfläche derselben. Die Erfahrung hat gelehrt, daß ein Körper die Wärme desto besser ausstrahlt, je höher seine Temperatur, je dunkler und je weniger glatt und poliert, je rauher also seine Oberfläche ist.

Nach Leslie ist das Strahlungsvermögen für

Lampenruß	100	Glas	99
Wasser	100	Chinesische Tusche	88
Schreibpapier	98	Eis	85

Mattes Blei	45	Poliertes Eisen	15
Quecksilber	20	Zinn, Silber	12
Poliertes Blei	19	Kupfer, Gold	12

Leslies Versuch mit einem hohlen, warmes Wasser enthaltenden metallenen Würfel, dessen eine Seite sehr glatt, die zweite matt geschliffen, die dritte mit Goldschlägerplättchen bedeckt und die vierte geschwärzt war. Weiße Öfen geben die Wärme langsamer ab, als schwarze, so wie unglasierte thönerne Öfen eine Stube schneller erwärmen, als glasierte; in recht glatt polierten Metallgefäßen bleibt warmes Wasser länger warm, als wenn die Oberflächen rauh sind; Röhren, die durch Wasserdampf oder erwärmte Luft Zimmer heizen, sind an denjenigen Stellen, wo die Mitteilung der Wärme stattfinden soll, mit Lampenruß oder Graphit überzogen; und wo sie möglichst vermieden werden soll, recht gut poliert.

d. Die Zurückwerfung der Wärmestrahlen befolgt die Gesetze der Zurückwerfung der Lichtstrahlen. Das beweisen die Versuche von Saussure und Pictet mit zwei großen Hohlspiegeln, welche in einer Entfernung von 3 bis 4 m so gestellt werden, daß ihre Achsen in eine gerade Linie fallen. Wird in dem Brennpunkte des einen eine Lichtflamme oder eine heiße Metallkugel, in dem des anderen die Thermometerkugel gehalten, so steigt das Quecksilber sichtbar, ebenso sinkt es, wenn in den ersten Brennpunkt Eis gebracht wird; durch eine glühende Holzkohle in dem einen Brennpunkte kann Zunder, Schwefel in dem anderen entzündet werden. Man kann diese Erscheinung nur nach den Regeln der Katoptrik erklären. Die aus dem Brennpunkte auf die zugehörige Spiegelfläche auffallenden Wärmestrahlen werden nämlich mit der Achse parallel zurückgeworfen, fallen also bei der angegebenen Stellung der Spiegel auch parallel mit der Achse auf die zweite Spiegelfläche, und werden daher von hier alle in den Brennpunkt dieser zweiten Spiegelfläche, in welchem sich der zu erwärmende oder zu erkaltende Körper befindet, zurückgeworfen, und bewirken durch ihre Vereinigung die Erwärmung und Zündung oder das Sinken des Quecksilbers. — Die Wärmestrahlen werden von polierten Körpern, besonders von Metallen, am vollkommensten, wenn auch in verschiedenen Graden, zurückgeworfen; von nicht polierten werden sie, wie die Lichtstrahlen, nach allen Seiten zerstreut. (Diffusion der Wärmestrahlen, § 161).

Brennspiegel — Reverberieröfen.

e. Wärmestrahlen, welche ein Körper absorbiert, erhöhen die Temperatur desselben im Verhältnisse ihrer Menge. Je weniger Strahlen ein Körper zurückwirft, je weniger er durchläßt, und je mehr sich der Einfallswinkel dem Rechten nähert, desto stärker und schneller wird er erwärmt. Bleibt die Temperatur eines Körpers beständig dieselbe, so kann das nur die Folge davon sein, daß die Quantitäten, der ausströmenden und einströmenden Wärme gleich sind, daß also sein Emissionsvermögen gleich ist seinem Absorptionsvermögen. Das stärkste Absorptionsvermögen von allen bekannten Körpern besitzt der Ruß.

Franklins Versuch mit verschiedenfarbigen Tuchläppchen, die er bei Sonnenschein auf Schnee legte. — Versuche mit einem Bleche, welches auf einer Seite dünn mit Wachs überzogen ist, und auf der anderen Seite verschiedenfarbige, einige Zoll breite Streifen hat, und welches mit der gefärbten Seite der Sonne zugewendet wird. — Die Empfindlichkeit eines Thermometers wird sehr vermehrt, wenn die Kugel mit Lampenruß, dessen Absorptionsvermögen groß ist, geschwärzt wird; es ist gut, die Mauern, an denen Wein, Pfirsiche und anderes Obst gezogen wird, schwarz anzustreichen; im Sommer zieht man gern hellfarbige, im Winter dunkelfarbige Kleider an.

f. Hinsichtlich des Transmissionsvermögens ergeben die Versuche folgende Resultate:

Es giebt Körper, z. B. Steinsalz, welche die Wärmestrahlen so vollständig durchlassen, wie die durchsichtigen Körper die Lichtstrahlen. Melloni nennt sie universell-diathermane Körper.

Die meisten durchsichtigen Körper sind im allgemeinen diatherman, wenn auch in verschiedenen Graden. Steinsalz ließ von einer Ölflamme, von glühendem Platin, von geschwärztem Kupfer von + 390° C., von siedendem Wasser in geschwärztem kupfernen Gefäße gleich viele Wärmestrahlen durch.

Es giebt Körper, welche gar keine Wärmestrahlen durchlassen, wie die undurchsichtigen keine Lichtstrahlen. Sie heißen athermane Körper.

Fast alle untersuchten, vollkommen undurchsichtigen Körper sind auch athermane; eine Ausnahme bilden schwarzes Glas und schwarzer Glimmer.

Es giebt endlich Körper, welche zwar die Wärmestrahlen von einigen Körpern, wenn auch in verschiedenen Mengen, durchlassen, von anderen aber gar nicht, die also in Bezug auf einige Wärmequellen diatherman, in Bezug auf andere atherman sind — wie es durchsichtige Körper giebt, welche nur die eine oder die andere Lichtart durchlassen und dadurch farbig erscheinen. Sie heißen partiell-diathermane Körper.

Kalkspat, Spiegelglas, Bergkrystall ließen vom in geschwärzten kupfernen Gefäßen siedenden Wasser keine Wärmestrahlen durch, wohl aber von dem erhitzten, geschwärzten Kupfer von 390° C., jedoch mehr vom glühenden Platin, die meisten von der Ölflamme. Gips und Alaun zeigen sich gegen siedendes Wasser und gegen Kupfer atherman, gegen die Ölflamme und glühendes Platin aber diatherman, jedoch sehr schwach, besonders Alaun. Von den (a) festen Körpern ist Steinsalz am meisten, Alaun am wenigsten, von den (b) flüssigen Körpern Schwefelkohlenstoff am meisten und Wasser am wenigsten diatherman. Ist die Menge der durch die Luft gehenden Wärmestrahlen 100, so ist nach Melloni das Transmissionsvermögen der genannten vier Körper ausgedrückt a) durch 92 und 12, und b) durch 63 und 11.

g. Es giebt auch eine Brechung der Wärmestrahlen, wie eine Brechung der Lichtstrahlen. Wenn auch aus Versuchen, in denen man durch eine Öffnung eines Schirmes auf ein Steinsalzprisma Wärmestrahlen auffallen ließ, und diese verschieden weit zufolge des Brechungsgesetzes abgelenkt fand, schon gewiß ist, daß die Wärmestrahlen aus verschiedenen Wärmequellen verschieden stark gebrochen werden, z. B. die von der Ölflamme stärker, als die vom glühenden Platin, so kennt man doch bis jetzt noch kein bestimmtes Gesetz.

Brenngläser. — Diathermane Linse von Steinsalz. — Das Wärmespektrum ist für Prismen von verschiedener Materie auch verschieden: bei einem Steinsalzprisma nimmt die Temperatur vom Violett bis zum Rot und noch bedeutend hinaus zu, so daß die wärmste Stelle im dunklen Raume liegt, während diese bei einem Kronglasprisma im Rot, bei einem Flintglasprisma schon außerhalb desselben, bei einem mit Wasser gefüllten im Gelben und bei einem mit Schwefelsäure gefüllten im Orange liegt. Der hierbei von Melloni gebrauchte Apparat kann erst später beim Thermomagnetismus erklärt werden.

Auch eine Polarisation der Wärmestrahlen haben Melloni und Forbes (1835) nachgewiesen, sowie Fizeau und Foucault (1847) die Interferenz, und Knoblauch (1848) die Beugung derselben.

Durch die strahlende Wärme eines geheizten Ofens beginnen im Winter die gefrorenen Fenster aufzutauen, ehe noch die Luft bis zu ihnen durch die fortgeleitete Wärme erwärmt sein kann. Stellen, die durch Schirme geschützt sind, bleiben unaufgetaut; eben so empfinden wir in Folge von Wärmestrahlung Hitze im Gesichte, wenn wir vor einem Kaminfeuer oder einem stark geheizten Ofen stehen. Mistbeete werden mit Glasfenstern bedeckt, so wie zarte Pflanzen mit Glasglocken; Treibhäuser sind auf der Südseite mit Glasfenstern versehen. Melloni (1831) hat eine Trennung von Licht und Wärme bewirkt. Sonnenlicht und irdisches Licht, welches er durch eine hinlänglich dichte Wasserschichte gehen ließ, zeigte nach seinem Durchgange, durch Linsengläser konzentriert, wiewohl es die Intensität des Sonnenlichtes erhielt, keine Einwirkung auf das empfindlichste Thermometer. Sonnenlicht und irdisches Licht, welches er durch schwarzen Glimmer und schwarzes Glas gehen ließ, erfuhr die entgegengesetzte Veränderung, indem nur die Wärmestrahlen durchgingen. Dort absorbierte das Wasser die Wärmestrahlen, hier das Glas die Lichtstrahlen.

3. Von der Temperatur der Mischung gleich- und ungleichartiger Körper; Wärmekapazität.

188. 1) Wenn zwei Körper von verschiedenen Temperaturen einander berühren, so teilt der wärmere dem weniger warmen so lange Wärme mit, bis beide gleiche Temperatur haben, und zwar geschieht diese Mitteilung desto schneller, je größer der Unterschied der Temperaturen war. Ein solcher Gewinn von Wärme auf der einen Seite und Verlust auf der andern Seite findet auch statt, wenn wir einen Körper berühren und ihn kalt oder warm finden.

Wird nach der Temperatur der Mischung zweier ungleich erwärmter Körper gefragt, so müssen hierbei zwei Fälle unterschieden werden, je nachdem die Körper gleich- oder ungleichartig sind. Sind die zu vermischenden Körper gleichartig (Wasser und Wasser, Quecksilber und Quecksilber), so findet man die Temperatur der Mischung nach der Richmannschen († 1753) Regel. Sie lautet: Man multipliziere die Masse oder das Gewicht eines jeden Körpers mit seiner Temperatur, addiere diese Produkte und dividiere deren Summe mit der Summe aus den Gewichten oder Massen. Für zwei Körper steht daher, wenn M, m die Massen, T, t ihre Temperaturen und x die Temperatur der Mischung bedeutet:

$$x = \frac{Mt + mt}{M + m}, \text{ woraus für } M = m$$

$$\text{folgt } x = \frac{M(T + t)}{2M} = \frac{T + t}{2}, \text{ d. h.}$$

sind die Massen gleich, so findet man die Temperatur der Mischung, wenn man das arithmetische Mittel der Temperaturen nimmt. Um so viele Grade also in diesem Falle des einen Körpers Temperatur erniedrigt wird, gerade um so viele wird die des andern erhöht, und so viel der eine an Wärme verliert, genau eben so viel gewinnt der andere. Auch erleiden gleichartige Körper von gleichen Massen und gleichen Temperaturen, derselben Wärme ausgesetzt, genau gleiche Temperaturerhöhungen.

2) Anders verhält es sich aber, wenn die zu vermischenden Körper ungleichartig sind. Da gewinnt oder verliert der eine Körper, wenn sie von gleichen Massen sind, mehr als der andere verloren oder gewonnen hat, und wenn sie gleiche Temperaturen haben, erleiden sie, derselben Wärme ausgesetzt, eine ungleiche Temperaturerhöhung. Die Eigenschaft ungleichartiger Körper von gleichen Massen durch dieselben Mengen von Wärme zu verschiedenen Temperaturen, oder durch verschiedene Mengen zu einerlei Temperatur erwärmt zu werden, heißt die Capacität derselben für die Wärme oder Wärmecapacität, und die Menge der Wärme, welche die Gewichtseinheiten der Körper dabei aufnehmen, heißt ihre spezifische Wärme. Man kann daher auch sagen: Diejenige Wärmemenge, welche ein Körper bei der Masse 1 (z. B. 1 kg) aufnimmt, um seine Temperatur um 1° C. zu erhöhen, heißt seine spezifische Wärme. Dabei schreiben wir von zwei Körpern demjenigen die größere Wärmecapacität zu, der von derselben Menge von Wärme zu einem niederen Grade erwärmt wird, weil er mehr Wärme als der andere braucht, um mit ihm auf gleichen Grad erwärmt zu werden. Wärmecapacität und spezifische Wärme stehen im geraden Verhältnisse zu einander. — Nach chemischen Untersuchungen scheint ein Zusammenhang zwischen den Atom-Gewichten der Stoffe und ihrer Wärmecapacität stattzufinden.

Die spezifische Wärme des Wassers hat man zur Einheit gewählt, weil sie, welche Temperatur das Wasser auch haben mag, nahezu konstant ist. Diejenige Wärmemenge, welche 1 kg Wasser um 1° C. wärmer macht, wird daher unter dem Namen Wärmeeinheit oder Kalorie allgemein als Maßeinheit für Wärmequantitäten angewendet.

Die Mischung aus 1 kg Wasser von 100° und 1 kg Quecksilber von 69° müßte, wenn die Richmannsche Regel anwendbar wäre, die Temperatur von 84,5° haben, hat aber 99°; indem also die Temperatur des Wassers um 1°, von 100° auf 99° gesunken ist, ist die des Quecksilbers um 30°, von 69° auf 99° gestiegen. Eine Mischung aus 1 kg Wasser von 69° und 1 kg Quecksilber von 100° hat auch nicht die Temperatur von 84,5°, sondern nur von 70°. Das Wasser ge-

winnt also nur an Wärme 1°, da es von 69° auf 70° steigt, während das Quecksilber 30° verliert, da es von 100° auf 70° sinkt; daraus, daß 1° Verlust beim Wasser schon 30° Gewinn beim Quecksilber, und umgekehrt, daß 30° Verlust beim Quecksilber nur 1° Gewinn beim Wasser hervorbringt, schließen wir also, daß das Wasser 30 mal mehr Wärme als Quecksilber von gleicher Masse brauche, um mit ihm auf gleichen Grad erwärmt zu werden, und wir sagen: Die Wärmecapacität, folglich auch die spezifische Wärme des Wassers, ist 30 mal größer, als die des Quecksilbers; ist also die des Wassers = 1, so ist die des Quecksilbers = $^1/_{30}$ = 0,0333.

1 kg Wasser von 70°
1 „ Leinöl von 100° } geben nicht 85°, sondern 80°, d. h.

ein Verlust von 20° beim Leinöl bringt beim Wasser nur einen Gewinn von 10° hervor, und

1 kg Wasser von 100°
1 „ Leinöl von 70° } geben nicht 85°, sondern 90°, d. h.

ein Verlust von 10° beim Wasser bringt beim Leinöl einen Gewinn von 20° hervor; es ist also die Wärmecapacität des Wassers doppelt so groß, als die des Leinöls.

1 kg Wasser von 0°
1 „ Eisen von 40° } geben 4° und

1 kg Wasser von 40°
1 „ Eisen von 0° } geben 36°,

also hat das Wasser eine 9 mal größere Wärmecapacität, als das Eisen.

Heißt die spezifische Wärme eines Körpers s, d. i. die Wärmemenge für 1 kg behufs einer Wärmeerhöhung um 1°, so sind für m kg m s Wärmeeinheiten für 1° Erhöhung und mithin m s t Wärmeeinheiten für t Grade Erhöhung nötig. Werden nun zwei Körper von den Massen M, m, den Temperaturen T, t und den specifischen Wärmen S, s zusammengebracht, so erhalten sie nach einiger Zeit eine gleiche Temperatur $\mathfrak{T}$. Hiernach ist die

Wärmemenge des einen Körpers = M S T
„ „ andern „ = m s t
„ der Mischung (M + m) = (MS + ms) . $\mathfrak{T}$,

und wenn nun bei der Mischung kein Verlust an Wärme stattgefunden hat, so ist $(MS + ms) . \mathfrak{T} = MST + mst.$

In dieser Gleichung sind unmittelbar gegeben M, m, T, t und $\mathfrak{T}$ ergiebt sich durch die Beobachtung; ist nun auch die spezifische Wärme des einen Körpers (S oder s) bekannt, so ist die spezifische Wärme des andern (s oder S) leicht zu bestimmen.

Für das vorhergehende Beispiel, Wasser und Quecksilber betreffend, steht

$(1 . 1 + 1 . s) . 99 = 1 . 1 . 100 + 1 . s\,69$, d. h. $99 + 99 . s = 100 + 69 . s$
$30 . s = 1$, also $s = {}^1/_{30}$,

oder:

$(1 . 1 + 1 . s)\,70 = 1 . 1 . 69 + 1 . s . 100$, d. h. $70 + 70 . s = 69 + 100 . s$
$1 = 30\,s$, also $s = {}^1/_{30}$.

Für Wasser und Eisen:

$(1 . 1 + 1 . s) . 4 = 1 . 1 . 0 + 1 . s\,40$, woraus folgt $9 . s = 1$, also $s = {}^1/_9$,

oder:

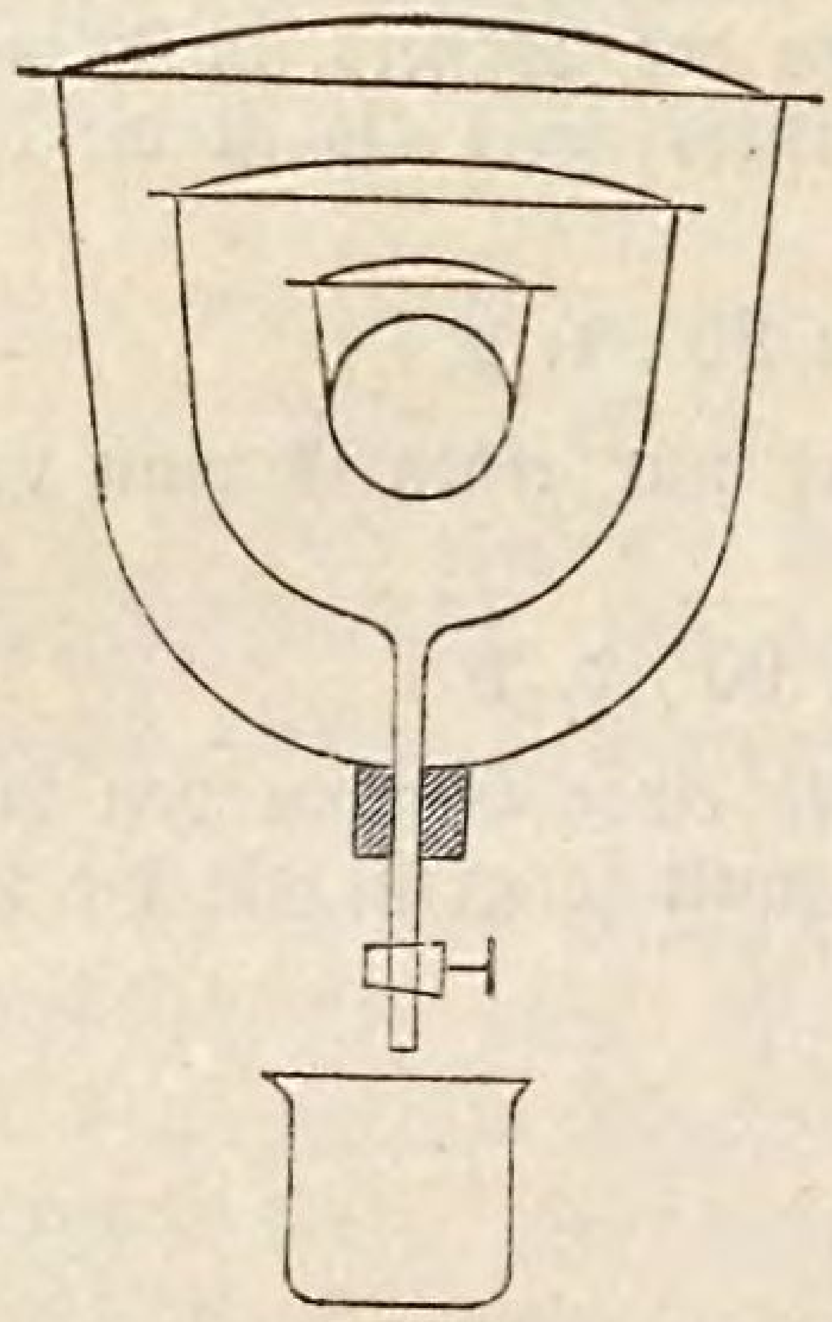
$(1 . 1 + 1 . s)\,36 = 1 . 1 . 40 + 1 . s . 0$, „ „ $9 . s = 1$, also $s = {}^1/_9$.

Wenn also gleichartige Körper von gleichen Massen am Thermometer gleiche Temperaturen zeigen, so sind wir berechtigt, anzunehmen, daß sie gleiche Mengen von Wärme in sich haben, keineswegs können wir dieses aber bei derselben Erscheinung ungleichartiger Körper thun.

Diese Methode, die spezifische Wärme der Körper zu finden, heißt die **Mischungsmethode**, zum Unterschiede von der **Methode des Eisschmelzens** (3) und der **Erkaltungsmethode** (4).

3) Das Kalorimeter von Lavoisier und Laplace Figur 122, gründet sich darauf, daß von zu gleicher Temperatur erwärmten Körpern derjenige die meiste Menge Eis von der Temperatur Null schmelzen muß, welcher die größte Menge Wärme in sich enthält. Drei Blechgefäße sind so ineinander gestellt, daß zwischen je zweien ein nicht zu kleiner, nach allen Richtungen gleicher Zwischenraum sich befindet; in das innerste oder erste kommt der zu untersuchende Körper, in das zweite, welches das erste ringsum einschließt, das von der Wärme jenes Körpers zu schmelzende Eis von der Temperatur Null, und in das dritte, welches das erste und zweite ringsum einschließt, wieder Eis, das die Bestimmung hat, die Einwirkung äußerer Wärme abzuhalten. Das durch Schmelzung des inneren Eises entstandene Wasser wird durch eine besondere Hahnvorrichtung ausgelassen, und aus seiner Menge auf die Wärmecapacität des untersuchten Körpers geschlossen. (Methode des Eisschmelzens.)

Figur 122.



Findet man: 1 kg Wasser von 79° C. schmilzt 1 kg Eis; aber 1 kg Eisen von 79° schmilzt im Kalorimeter $^1/_9$ kg Eis, so ist die spezifische Wärme des Eisens $^1/_9 = 0{,}11$.

4) Auch hat man die Wärmecapacität fester und flüssiger Körper zu bestimmen gesucht aus der Zeit, die sie, zu gleichen Graden erwärmt, brauchen, um in der Temperatur um eine bestimmte gleiche Anzahl von Graden abzunehmen, indem man dabei voraussetzte, die Wärmecapacitäten verhielten sich zu einander, wie diese Zeiten. (Erkaltungsmethode). Bei der Bestimmung der Wärmecapacitäten der Gase ging man davon aus, daß eines Gases Wärmecapacität desto größer sein müsse, eine je geringere Menge desselben von einer bestimmten Temperatur man mittelst gewundener Röhren durch Wasser zu leiten nötig habe, um dieses in der Temperatur um eine bestimmte Anzahl von Graden zu erhöhen, wobei man voraussetzte, die Wärmecapacitäten verhielten sich zu einander, wie umgekehrt diese Mengen. Die spezifische Wärme der Luft ist etwa 0,25, weil die Wärme, welcher ein kg Wasser von 0—100° erwärmt, auch vier kg Luft von 0—100° C. erwärmt.

Specifische Wärme des Eisens = 0,114; des Kupfers = 0,095; des Silbers = 0,057; des Platins = 0,032; des Bleis = 0,031; des Quecksilbers = 0,033; des Schwefels = 0,203; des Wassers = 1,000; des Eises = 0,505; des Wasserdampfes = 0,475; des Wasserstoffgases = 3,405. (Ueber Änderungen der spezifischen Wärme der gasförmigen Körper bei Änderung des Druckes wird später noch ausführlicher gesprochen.)

4. Von der Veränderung des Aggregatzustandes der Körper durch die Wärme.

189. 1) Bringt man in die warme Stube eine Schüssel voll Schnee oder zerstoßenes Eis und setzt ein Thermometer hinein, so nimmt dasselbe zuerst die Temperatur des Schnees an; wenn aber durch die Wärme des Zimmers oder durch eine untergesetzte Spirituslampe der Schnee zum Schmelzen gebracht wird, so zeigt es Null Grad, bleibt dann auf 0° stehen und zwar so lange, als nur noch ein Stückchen Schnee vorhanden ist. So wie die Schüssel lauter Wasser enthält, steigt auch bei fortgesetzter Erwärmung am Feuer das Thermometer wieder und zwar so lange, bis dieses Wasser bei 100° C. zu kochen anfängt, wo es dann bei 100° C. so lange stehen bleibt, als noch nicht alles Wasser durch das Kochen in Dampf verwandelt ist. Würde nun dieser Dampf für sich wieder weiter erwärmt, so würde auch ein mit hinlänglich hoher Skala versehenes Thermometer sich weit über 100° C. erheben. Die von dem auftauenden Schnee von (0°) aufgenommene Wärme wurde also, da sie auf das Thermometer nicht wirkte, lediglich zur Verwandlung des Schnees in Wasser (wieder blos von 0°), so wie die vom kochenden Wasser (von 100° C.) aufgenommene Wärme lediglich zur Verwandlung des Wassers in Dampf (wieder von 100° C.), also überhaupt zur Verwandlung des Aggregatzustandes der Körper Schnee und Wasser, verwendet. Man nennt die Wärme in diesem Falle **gebundene** oder **latente** Wärme, während die auf das Gefühl und Thermometer wirkende **freie** Wärme heißt. Nach § 181 sind die beiden Ausdrücke latente (verborgene) und freie Wärme nicht mehr ganz zutreffend; doch sind dieselben immer noch vielfach im Gebrauch.

Eine solche Bindung von Wärme findet immer statt, so oft ein fester Körper flüssig, ein flüssiger luftförmig wird. Ein und derselbe Körper kann durch bloße Wärme alle drei Aggregatformen annehmen. Eis, Wasser, Dampf ist immer derselbe Körper, aber mit verschiedenen Mengen von Wärme; Eis mit der wenigsten, Wasser mit mehr, Dampf mit der meisten Wärmemenge. Dampf wird auch durch Erkaltung, d. i. durch Entziehung von Wärme, zu Wasser, und dieses auf demselben Wege zu Eis. Was hier mit Wasser geschieht, geschieht durch die Wärme mit sehr vielen andern Körpern (§ 3), so daß man angenommen hat, alle luftförmigen würden flüssig und diese wieder fest werden, wenn ihre Temperaturen hinlänglich erniedrigt werden könnten, so wie umgekehrt, alle festen Körper flüssig, alle flüssigen luftförmig bei hinlänglich großer Erhöhung der Temperatur. Zusammengesetzte Körper werden durch Hitze in ihre Bestandteile zerlegt.

2) Sobald ein fester Körper den **Schmelzpunkt**, d. h. die Temperatur erreicht hat, bei welcher er zu schmelzen beginnt, wird alle Wärme, welche er weiterhin empfängt, ausschließlich zur Schmelzung

verwendet, bis der letzte Teil geschmolzen ist. Daher ist der Schmelzpunkt eines Körpers unter gewöhnlichen Umständen constant. Bei demselben Temperaturgrade kehrt der flüssige Körper wieder in den festen Zustand zurück, wenn ihm Wärme entzogen wird; auch hierbei wird zunächst nur die Schmelzwärme abgegeben, bis das Ganze erstarrt ist. Daher ist der Erstarrungspunkt oder Gefrierpunkt eines Körpers seinem Schmelzpunkte gleich.

Schmelz- und Erstarrungspunkte einiger Körper:

Absoluter Alkohol	— 130° C.	Wismut	265° C.
Quecksilber	— 39° „	Blei	335° „
Wasser	0° „	Zink	400° „
Talg	+ 41° „	Silber	1000° „
Butter	63° „	Kupfer	1100° „
Gelbes Wachs	61° „	Gußeisen	11—1200° „
Weißes Wachs	68° „	Gold	1200° „
Schwefel	111° „	Stahl	13—1400° „
Zinn	228° „	Schmiedeeisen	15—1600° „

3) Die Schmelzpunkte von Mischungen verschiedener Körper sind oft weit abweichend von denen der Bestandteile. Metalllegierungen sind meistens leichter schmelzbar, als aus der Menge und dem Schmelzpunkte der einzelnen Bestandteile geschlossen werden sollte. Mischungen leichtlöslicher fester Körper, mit dem gleichfalls im festen (gefrorenen) Zustande befindlichen Lösungsmittel können oft bedeutende Kältegrade als Schmelzpunkte zeigen; derartige Gemische, namentlich von löslichen Salzen mit Eis, werden **Kältemischungen** genannt; stets ist der Schmelzpunkt einer solchen Mischung dem Gefrierpunkte der entstehenden gesättigten Lösung gleich, so lange noch ein Teil des Lösungsmittels und des sich lösenden Körpers im festen Zustande vorhanden ist.

Legierungen von Zinn und Blei (Schnellot) schmelzen oft leichter, als selbst das Zinn. Das Rose'sche Metall, eine Legierung von 4 Gew.-T. Wismut, 1 T. Blei und 1 T. Zink schmilzt schon bei 94° C. Das Wood'sche Metallgemisch, bestehend aus 1—2 Gew.-T. Cadmium (Schmelzp. 315° C.), 7—8 G.-T. Wismut, 2 G.-T. Zinn, und 4 G.-T. Blei zeigt sogar Schmelzpunkte von 66—72° C. Derartige leichtschmelzbare Legierungen finden sehr vielfache praktische Verwendung. Unter den Kältemischungen ist hauptsächlich die Mischung von zerstoßenem Eis (3 Gewichtsteilen) mit Kochsalz (1 G.-T.) im praktischen Gebrauch, welche eine Temperatur bis — 20° C. besitzt. — Kleine Flüssigkeitsmengen können bei vollkommener Ruhe oft weit unter ihren normalen Erstarrungspunkt abgekühlt werden, ohne zu erstarren; die geringste Erschütterung aber bewirkt augenblickliches Festwerden eines entspechenden Teiles der Flüssigkeit unter Erhöhung der Temperatur auf den Erstarrungspunkt. — Übersättigte Salzlösungen.

Die meisten Körper zeigen bei dem Erstarren eine Zusammenziehung, sodaß sie im festen Zustande einen kleineren Raum einnehmen, als im flüssigen. Das Wasser hingegen dehnt sich beim Gefrieren um fast $^1/_{10}$ seines Volumens aus, sodaß das spez. Gew. des Eises nur gleich 0,9 ist. Diese Eigenschaft des Wassers, in Verbindung mit dem Umstande, daß Wasser von + 4° C. schwerer ist, als das von 0°, ist für das Verhalten der Gewässer im Winter von hoher Bedeutung. Die schwimmende Eisdecke, zumal wenn sie eine lockere Schneedecke trägt, schützt das Wasser vor stärkerer Abkühlung; in der Tiefe ruhender Gewässer sinkt die Temperatur auch im härtesten Winter nicht unter + 4° C. herab. Die Kraft, mit welcher das entstehende Eis sich ausdehnt, ist ebenso groß wie die Druck-

kraft, welche zum zusammenpressen des entstandenen Eises bis auf das Volumen des Wassers erforderlich wäre; sie vermag daher die stärksten Gefäße zu zersprengen; sie erweitert die Risse und Spalten an der Oberfläche der Gesteine und bewirkt dadurch allmählich ihre Zertrümmerung; außerdem ist sie ein wirksames Mittel zur Auflockerung des Ackerbodens u. s. w.

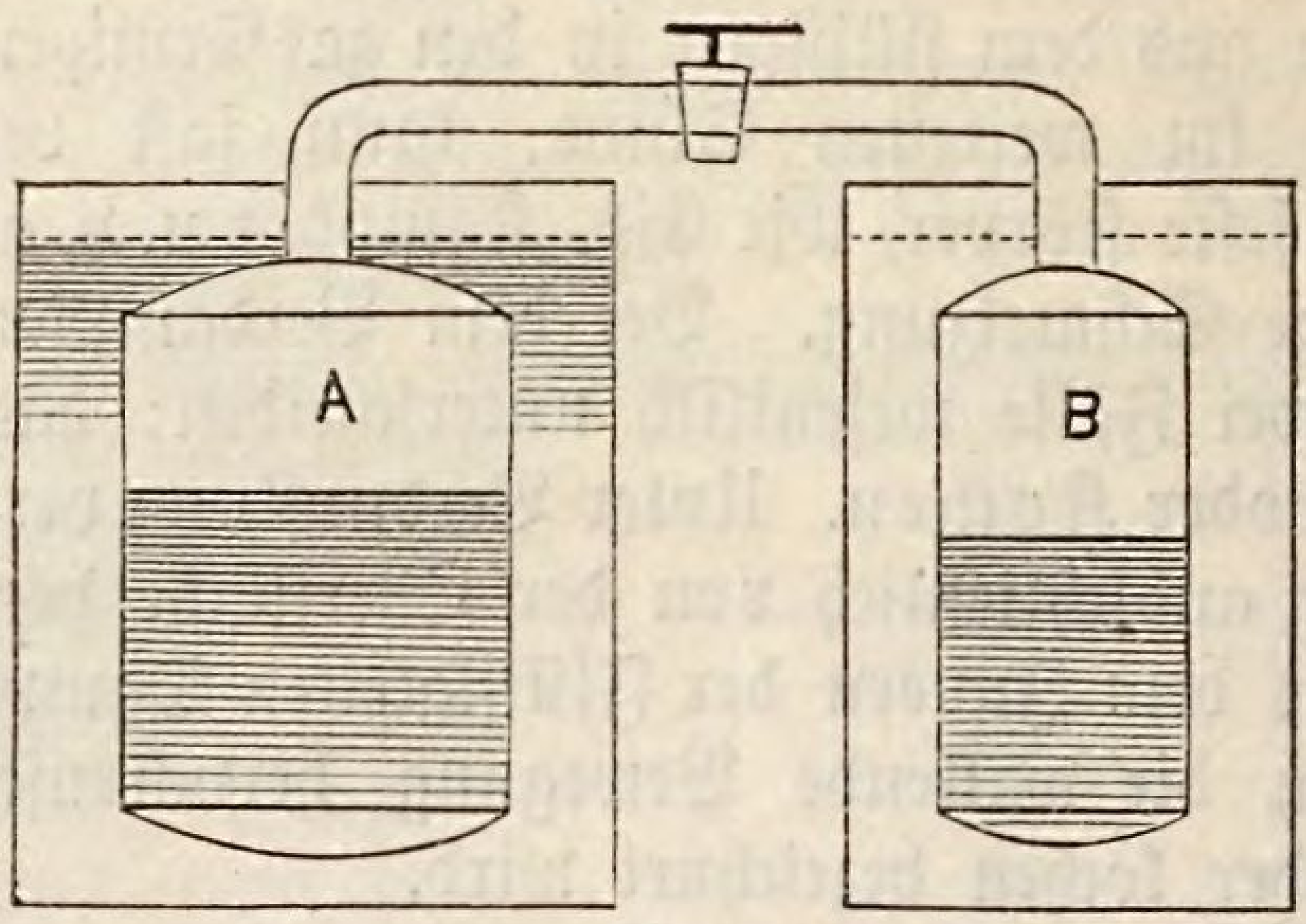
4) Der Übergang der Körper aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand, die Verdampfung im weitesten Sinne, kann fast bei jeder Temperatur erfolgen; selbst feste Körper, wie Eis, Kamphor u. v. a. geben Dämpfe ab ohne vorherige Schmelzung. Bei dem Verdampfen im weiteren Sinne lassen sich zwei Fälle wesentlich unterscheiden: das Verdunsten und das Sieden oder Kochen. Unter Verdunstung versteht man die Dampfentwickelung ausschließlich von der Oberfläche her, während bei dem Sieden auch aus dem Innern der Flüssigkeiten Dampf in Blasen aufsteigt und dadurch die wallende Bewegung hervorruft, welche speciell auch als sieden oder kochen bezeichnet wird.

5) Bei Umwandlung der flüssigen Körper in Dampf werden noch viel größere Wärmemengen gebunden, als bei dem Schmelzen derselben. Ein Kilogramm Eis erfordert zur alleinigen Schmelzung 79 Wärmeeinheiten, ein Kilogramm Wasser dagegen 539 derselben Einheiten zur Umwandlung in Dampf von unveränderter Temperatur. Man sagt die Schmelzwärme des Eises ist gleich 79, die Verdampfungswärme des Wassers gleich 539. Es zeichnet sich auch hierin das Wasser vor den meisten anderen Körpern dadurch aus, daß bei diesen die Schmelz- und Verdampfungswärme meist bedeutend geringer ist. Geht eine Flüssigkeit in Dampf über ohne genügende Zuführung von Wärme, so muß sie ihre eigene freie Wärme hierzu verwenden und dadurch um so mehr sich abkühlen, je schneller sie verdampft, je weniger Wärme daher von der Umgebung im Verhältnis zum Wärmeverbrauch zugeführt wird. Durch künstliche Beschleunigung der Verdunstung kann Wasser z. B. im luftleeren Raume zum Gefrieren gebracht werden (Wollastons Kryophor). Flüssigkeiten, welche schon bei niederen Temperaturgraden reichlich verdampfen, vermögen hierbei sehr bedeutende Kältegrade zu erzeugen.

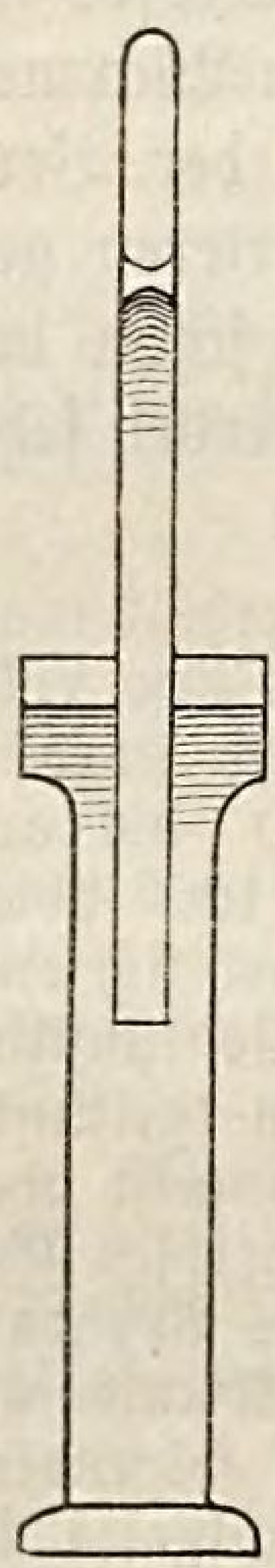
Mischt man 1 kg Wasser von 79° mit 1 kg Schnee von 0°, so erhält man sofort 2 kg Wasser von 0°. Die 79 Kalorien des heißen Wassers sind also vollständig zur Umwandlung von 1 kg Eis in Wasser von 0° verbraucht worden. Durch 1 kg Wasserdampf von 100° können 5,39 kg Wasser von 0° bis auf 100° erwärmt werden, wobei der Dampf gleichfalls in Wasser von 100° übergeht. — Aus dem Verbrauch von Wärme bei der Verdampfung erklärt sich eine große Zahl von Erscheinungen, welche teils in der Natur auftreten, teils künstlich hervorgerufen werden, z. B. die Abkühlung aller nassen Gegenstände an der Luft; die lebhafte Kälteempfindung bei Begießen der Hände mit reinem Weingeist oder Äther (sog. Schwefeläther); das Auftreten natürlicher Eishöhlen in porösen Gesteinen u. s. w. — Eine ausgedehnte praktische Anwendung haben die Apparate zur Bereitung künstlichen Eises gefunden. Unter diesen hat sich die Ammoniak-Eismaschine von Carré am meisten bewährt, deren Einrichtung auf folgendem Grundgedanken beruht: 1 Raumteil gesättigter Lösung des Ammoniakgases in Wasser kann bei + 10—15° C. mehr als 500 Raumteile des Gases enthalten, welche bei starkem Erhitzen gasförmig entweichen; reines Ammoniakgas geht bei + 10—15° C. unter einem Drucke von 6—8 Atm. selbst in eine Flüssigkeit

über (§ 189 . 8), welche bei vermindertem Drucke unter sehr starker Abkühlung lebhaft verdampft. Wird hiernach ein starkes Metallgefäß A (Figur 123), zum größeren Teile (etwa $^3/_4$ des Rauminhaltes) mit gesättigter Ammoniaklösung angefüllt, durch ein Rohr mit einem zweiten kleineren B verbunden, alsdann A erhitzt, während B mit möglichst kaltem Wasser umgeben ist, so wird das Gas aus A nach B übergehen und hier zu flüssigem Ammoniak sich verdichten, sobald der Druck desselben, je nach der Temperatur des Kühlwassers, etwa 6—8 Atm. erreicht hat. So lange das Kühlwasser, welches sich schnell erwärmen würde, fortwährend durch frisches ersetzt wird, geht die Kondensation in B schnell vor sich, bis nahezu die gesammte Gasmenge von A nach B übergegangen ist. Alsdann wird das Feuer von A entfernt, und nunmehr auch dieses Gefäß mit kaltem Wasser umgeben; bei Abkühlung erlangt das Wasser in A seine enorme Absorptionsfähigkeit für Ammoniak wieder, sodaß nunmehr die Flüssigkeit in B schnell verdampft und die Verdampfungswärme dem kalten Wasser des B umgebenden Gefäßes entzieht, wodurch dieses zum Teil in Eis verwandelt wird. Der Raum in A und B, welcher keine Flüssigkeit enthält, muß frei von atmosphärischer Luft sein. Für den praktischen Gebrauch erfordert der Apparat noch einige Vorrichtungen, Ventile, Thermometer in A, Einfüllungs- und Auslaßvorrichtungen, welche hier fortgelassen sind. Bei großen Apparaten wird der Übergang des Gases von A nach B durch Pumpwerke u. s. w. beschleunigt.

Figur 123.



Figur 124.



6) Befindet sich ein Dampf in Berührung mit der dampfbildenden Flüssigkeit in einem abgeschlossenen Raume, so ist die Spannung des Dampfes allein von der Temperatur abhängig. Vergrößerung oder Verkleinerung des Dampfraumes bewirkt nur dementsprechende Vermehrung oder Verminderung der Dampfmenge, vorausgesetzt, daß die Temperatur konstant bleibt. Der Dampf befindet sich im Zustande der **Sättigung**. Bringt man in den luftleeren Raum einer etwa 80 cm langen Barometerröhre, welche mit dem unteren Ende in ein Gefäß mit Quecksilber taucht (Figur 124), einige Tropfen Wasser, so sinkt augenblicklich die Quecksilbersäule durch Bildung von Wasserdampf, dessen Spannung den Druck der nun fehlenden Quecksilbersäule ersetzt. Taucht man das Rohr tiefer ein, so vermindert sich der Dampfraum, während die Höhe der Quecksilbersäule unverändert bleibt. Selbst Eis zeigt hierbei noch eine Depression von einigen Millimetern der Quecksilbersäule. Wird hingegen der Dampfraum erwärmt, so tritt mit steigender Temperatur ein schnelles Sinken der Quecksilbersäule ein, bis bei 100 ° C. dieselbe um 760 mm, den ganzen Betrag des normalen Barometerstandes gesunken ist. Reiner Alkohol würde diesen Druck schon bei 78°, Äther bei 35° erreichen.

Hierin ist ein Mittel gegeben, den Druck der gesättigten Dämpfe für jede Temperatur, bis der Atmosphärendruck erreicht ist, festzustellen. Für höheren Druck wendet man starke Metallgefäße an, welche mit Thermometer und einer geeigneten Vorrichtung zur Messung höheren Dampfdruckes (Manometer) versehen sind.

Druck des gesättigten Wasserdampfes bei:

— 20° C.	— 0,9 mm	+ 20° C.	— 17,4 mm
— 10° „	— 2,1 „	+ 30° „	— 31,5 „
0° „	— 4,6 „	+ 50° „	— 92,0 „
+ 10° „	— 9,2 „	+ 100° „	— 760,0 „

Temperatur des gesättigten Wasserdampfes bei dem Drucke von:

1 Atm.	100,0° C.	6 Atm.	160,0° C.
2 „	121,5° „	7 „	166,5° „
3 „	135,0° „	8 „	172,0° „
4 „	145,5° „	9 „	177,0° „
5 „	153,0° „	10 „	181,5° „

Bei Bezeichnung des Dampfdruckes namentlich in Dampfkesseln, wird häufig auch die Wirkung des Luftdruckes abgezogen, sodaß nur der Druck in Rechnung gezogen wird, mit welchem der Dampf den normalen Luftdruck (1 Atm.) überwindet; dann bezeichnet man Dampf von 1—2—3 u. s. w. Atm. Gesammtdruck als solchen von 0—1—2 u. s. w. Atm. „Überdruck“.

7) Wird ein Dampf von der dampfbildenden Flüssigkeit getrennt und durch Ausdehnung oder Erwärmung von seinem Sättigungspunkte weit entfernt, so folgt er wie jedes Gas dem Mariotteschen Gesetze; auch sein Ausdehnungskoefficient entspricht, wie bei allen Gasen, der Zahl 0,003665 für je 1° C. Bei Abkühlung oder Kompression deutet eine sich steigernde Abweichung von beiden genannten Eigenschaften die Nähe des Sättigungspunktes an. Wird die Temperatur auf unveränderlicher Höhe erhalten, so erreicht der Dampf mit seinem Sätttigungspunkte das Maximum seiner Spannkraft für diese Temperatur, d. h. bei weiterer Kompression vermag der Dampf keine größere Spannung mehr anzunehmen.

Sowie Wasser bei vollkommener Ruhe auch unter dem Gefrierpunkt sich abkühlen kann, ohne sofort Eis zu erzeugen, so kann auch bei vollkommener Ruhe und langsam steigender Temperatur unter Umständen das Wasser bis weit über denjenigen Siedepunkt erhitzt werden, welcher dem herrschenden Drucke entspricht. Bei Störung der Ruhe erfolgt alsdann plötzliche, explosionsartige Dampfbildung. Die Erscheinung tritt besonders bei völlig luftfreiem Wasser in offenen wie in geschlossenen Gefäßen ein; sie wird als eine der Ursachen namentlich derjenigen Dampfkessel-Explosionen betrachtet, welche unmittelbar nach einer Ruhepause beim Öffnen des Dampfhahns oder -Ventiles erfolgen.

8) Auch die luftförmigen Körper erreichen bei ausreichend starker Kompression ein Maximum ihrer Spannkraft oder einen Sättigungspunkt und zwar um so eher, je niedriger ihre Temperatur ist. Die Nähe des Sättigungspunktes kündet sich auch hier durch starke Abweichung vom Mariotteschen Gesetze an; ist der Sättigungspunkt erreicht, so bewirkt die weitere Kompression einen Übergang des Gases in den flüssigen Zustand. Die erste Überführung von Gasen gelang Faraday im Jahr 1823. Mit Verbesserung der Kompressions- und Abkühlungsmittel ist allmählich die Zahl der kondensierbaren oder

koerzibelen Gase den nicht condensierbaren oder permanenten Gasen gegenüber immer mehr gewachsen, bis lange Zeit hindurch die Zahl der letzteren auf nur 6 sich beschränkte, nämlich Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Stickstoffoxyd, Kohlenoxyd, Sumpfgas. Doch haben die gleichzeitigen (1877), aber unabhängig von einander geführten Versuche von Pictet in Genf und Cailletet in Paris, deren Vorrichtungen Kompressionen bis über 600 Atm. und Abkühlung bis mehr als — 140 ° C. gestatteten, außer Zweifel gestellt, daß auch diese Gase die Fähigkeit besitzen, in den flüssigen und selbst festen Zustand überzugehen.

Für jeden gasförmigen Körper giebt es eine bestimmte Temperaturgrenze, bis zu welcher dasselbe abgekühlt sein muß, um durch Kompression in den flüssigen Zustand übergehen zu können; bei einer Temperatur oberhalb dieser Grenze vermag keine Druckkraft den gasförmigen Zustand zu ändern. Dieser Temperaturgrad wird nach Andrews der kritische Punkt des Gases genannt; dieser Punkt liegt bei den meisten Gasen weit unter 0°, bei einigen weit unter — 100° C.; bei kondensierbaren Gasen und Dämpfen auch über 0 ° selbst weit über + 100 ° C. Wird in einem zugeschmolzenen ausreichend starken Glasrohre ein kondensiertes Gas, z. B. flüssige Kohlensäure vorsichtig erwärmt, so steigert sich in der Nähe des kritischen Punktes die Ausdehnung der Flüssigkeit schnell bis zu der der Gase; ist der genannte Punkt erreicht, so gehen Flüssigkeit und Gas völlig in einander über; das Rohr darf nur zum Teil mit der Flüssigkeit gefüllt sein.

Die aus Gasen durch Kompression erhaltenen Flüssigkeiten verdampfen mit äußerster Lebhaftigkeit und erzeugen durch Bindung von Wärme die höchsten Kältegrade, welche bisher erreicht worden sind (— 140° C.). In der Regel geht hierbei ein Teil der Flüssigkeit in den festen Zustand über. Meistens verwendet man zur Erzeugung hoher Kältegrade die Kohlensäure, welche bei 0° unter einem Drucke von 36 Atm. flüssig wird und beim Ausströmen in die freie Luft eine Kälte von — 80° C. erzeugt, wobei ein großer Teil derselben gefriert. Noch höhere Kältegrade erzeugt eine Mischung von Kohlensäure und Stickstoffoxydul, insbesondere, wenn die Verdampfung durch Luftpumpen beschleunigt wird. Dieselben reichen aber noch nicht bis an den kritischen Punkt der erst in neuester Zeit kondensierten Gase heran, sodaß diese erst nach stärkster Compression und Abkühlung durch eigene Ausdehnung (§ 194) zum Teil sich kondensieren konnten.

9) Der Siedepunkt einer Flüssigkeit, d. h. derjenige Temperaturgrad, bei welchem auch im Innern derselben Dampfblasen sich bilden, ist abhängig von dem Drucke, welchen der Dampf zu überwinden hat. In offenen Gefäßen ist es der Atmosphärendruck, zu welchem noch der Druck der Flüssigkeitssäule bis zum Orte der Dampfentwickelung sich gesellt. Der Temperaturgrad, bei welchem der entstehende Dampf dem normalen Luftdrucke, also einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe das Gleichgewicht zu halten vermag, wird der normale Siedepunkt der Flüssigkeit genannt. Bei geringerem Drucke wird der Siedepunkt erniedrigt, bei höherem erhöht.

Normale Siedepunkte: Äther + 35° C., Alkohol 78°, Wasser 100°, gesättigte Kochsalzlösung 108°, Schwefelsäure 325°, Quecksilber 350°.

Kocht das Wasser im Thale bei 100° C., so kocht es auf einem Berge bei einer desto niederen Temperatur, je höher er ist, z. B. auf dem Montblanc, der fast 4600 m hoch ist, nach Beobachtungen Saussüres bei 78,5° C.; unter dem Rezipienten der Luftpumpe hat man das Wasser bei + 37° C., und in der Toricellischen Leere bei + 16° C. zum Kochen gebracht; im Pulshammer siedet das Wasser schon bei der Wärme der Hand; im Papinschen Topfe (von Dionysius Papin 1680 erfunden) üben die eingeschlossenen Wasserdämpfe durch ihre Expansivkraft auf das Wasser einen so bedeutenden Druck aus, daß dieses zum Kochen einer ungewöhnlich hohen Temperatur bedarf, wodurch es möglich wird, in ihm Körper, die auf gewöhnliche Art nicht zerkocht werden können, wie Holz, Horn, Knochen, Elfenbein, zu zerkochen, ja selbst Blei ist in dem kochenden Wasser dieses Topfes geschmolzen worden. Auf einem Berge muß eine Speise, da das Wasser bei einer niederen Temperatur kocht, länger kochen als im Thale, um erweicht zu werden. Bunsen, Erklärung des Geister-Phänomens. — Sieden des Zuckers bei verdünnter Luft. Thermometrische Höhenmessungen.

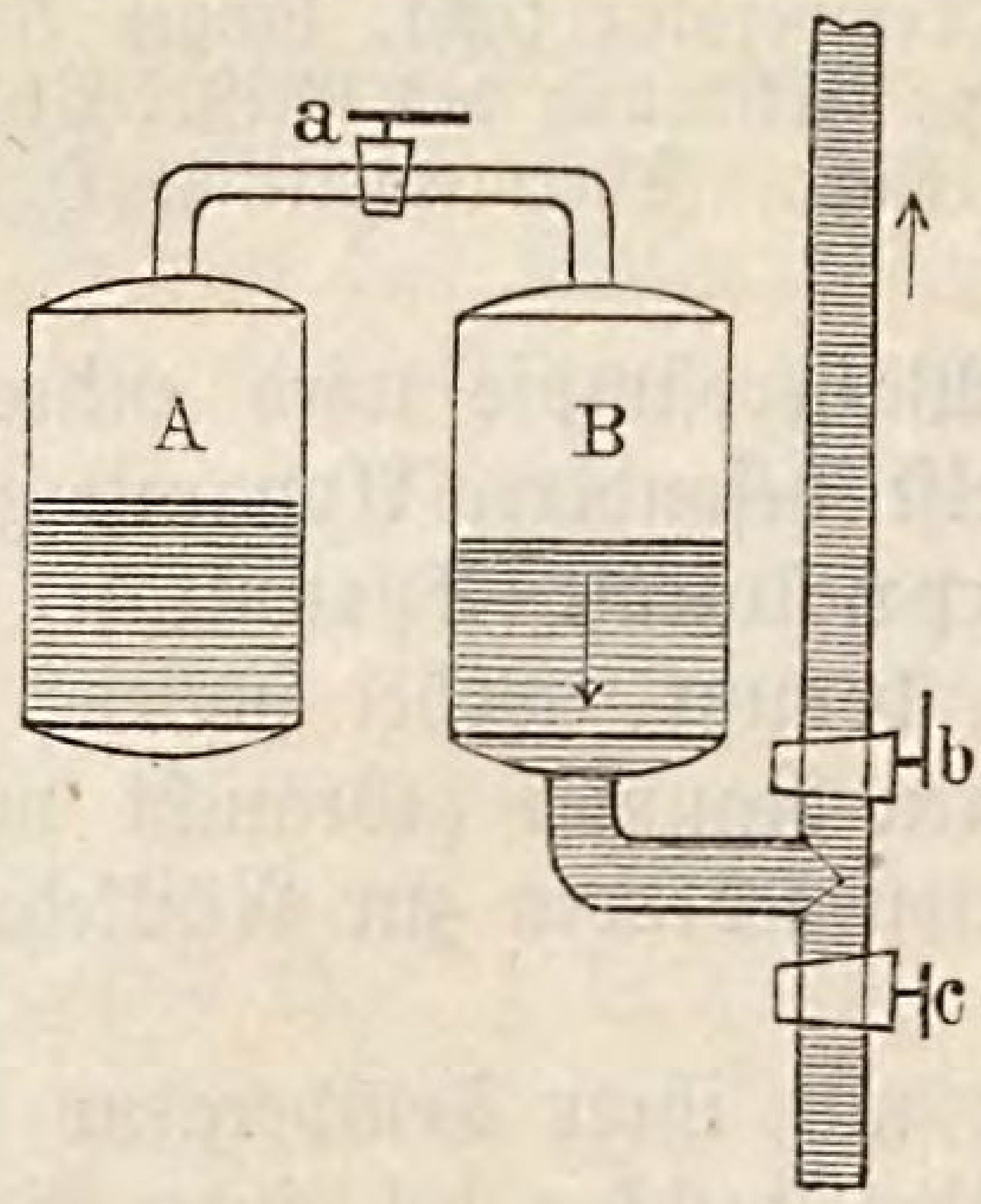
190. 1) Bei der Anwendung der Wasserdämpfe wird entweder die in denselben gebundene Wärme mittelst besonderer Apparate zum Trocknen, Heizen und Kochen, oder ihre Expansivkraft (Spannkraft) als bewegende Kraft bei den Dampfmaschinen benutzt, wobei zugleich der Dampf zur Hervorbringung eines luftleeren Raumes gebraucht wird, indem man ihn durch Berührung mit kalten Körpern zur Rückkehr in den flüssigen Zustand nötigt.

Die Spannkraft der Dämpfe wächst mit ihrer Temperatur und wird auf den Atmosphärendruck zurückgeführt, welcher bei einem Barometerstande von 760 mm fast genau 10300 kg auf einen Quadratmeter beträgt. (§ 127). Wie schon § 189, 6 angeführt, wächst der Druck der Wasserdämpfe mit der Temperatur in rasch steigendem Verhältnisse, so daß der Dampf bei 100° auf einen Quadratcentimeter einen Druck ausübt von 1,03 kg, bei 121,5° von 2,06 kg, bei 135° von 3,09 kg, bei 145,5° von 4,12 kg, bei 160° von 6,18 kg, bei 172° von 8,24 kg, bei 181,5° von 10,30 kg.

Dämpfe zeigen sich wirksam bei dem Sprengen der mit Wasser gefüllten Glastropfen, bei der Aeolipile, bei der Feuerfontaine, beim Dampfreaktionsapparat. — Die bewegende Kraft der Dämpfe läßt sich schon durch ein sehr einfaches Instrument zeigen, bestehend aus einer an einem Ende offenen und am andern Ende eine Hohlkugel enthaltenden cylindrischen Glasröhre, in welcher sich ein dicht anschließender Kolben hin- und herbewegen läßt. Wird die Kugel zum Teil mit Wasser gefüllt und dieses über einer Lampe zum Kochen gebracht, so treibt die Kraft der entstandenen Dämpfe, mächtiger als der Atmosphärendruck, den Kolben in die Höhe, welcher sofort wieder, dem Atmosphärendrucke folgend, herabgeht, wenn die Dämpfe durch Eintauchen der Kugel in kaltes Wasser mittelst Kondensation verschwinden. Versuch von Leidenfrost (1756), wobei eine geringe Wassermenge auf ein glühendes Metallschälchen vorsichtig gegossen wird, welchem durch eine Flamme stets reichlich Wärme zugeführt wird; hier hindert eine immer sich erneuernde Dampfschicht die unmittelbare Berührung des Wassers mit dem Metall, sodaß das Wasser in Kugelform oder als vielzackiger Stern auf seinem Dampfe schwebend eine lebhafte, oft sehr regelmäßige Bewegung annimmt, ohne daß es zum Kochen kommt, da die geringe Wärmemenge, welche die schlechtleitende Dampfschicht dem Wasser zuführt, durch die sehr schnelle Verdunstung in Anspruch genommen wird. Bei allmählicher Abkühlung der Metallfläche beginnt plötzlich unter lebhaftem Zischen das Wasser zu kochen. — Explosion des Dampfkessels, welcher nicht hinlänglich mit Wasser gespeist ist.

2) Als Erfinder der Dampfmaschinen wird der Engländer Hauptmann Savery (1698) genannt. Seine erste Maschine, mittelst deren Wasser zu bedeutender Höhe gehoben wurde, war eine Saug- und Druckpumpe, aber ohne Kolben. (Fig. 125). Zwischen dem Dampfkessel A und dem hohen Saugrohre, dessen unteres Ende sich im Wasser befand, war in angemessener Höhe ein Behälter B, dessen oberer Teil durch eine Röhre mit dem Dampfkessel und dessen unterer Teil durch eine zweite Röhre mit dem Saugrohre verbunden war. In dem Dampfrohre zwischen dem Kessel und dem Behälter befand sich ein Hahn (a) und im Saugrohre waren zwei Hähne angebracht, nämlich über (b) und unter (c) dem Eintritte der den Behälter und dieses Saugrohr verbindenden Röhre. Es wurde zunächst der Behälter und das Saugrohr mit Dampf gefüllt, darauf durch Kondensation des Dampfes ein luftleerer Raum erzeugt, worauf die äußere Luft das Wasser bis in den Behälter hob, aus welchem frisch zuströmender Dampf dasselbe durch den oberen Teil des Saugrohres bis zum Ausgußrohre und durch dieses in ein Behältnis trieb. Hierzu war folgende Bewegung der Hähne nötig: 1: a, b, c, geöffnet; 2: a und b geschlossen, c offen; 3: a und b geöffnet, c geschlossen u. s. w.

Figur 125.



3) Der Engländer Thomas Newcomen baute 1705 die erste mit Kolben wirkende Dampfmaschine, was in Vergleich mit der Maschine von Savery schon ein großer Fortschritt war. Sie wird atmosphärische Maschine genannt: der aus dem Kessel unter dem Kolben eintretende Dampf (Gehler II, Fig. 133) hebt den Druck der Luft über dem Kolben auf; der Dampfkolben ist durch eine Kette mit dem Ende eines starken Hebels (Balanciers) verbunden, an dessen anderem Ende das meistens sehr schwere sogenannte Pumpengestänge hängt, welches durch sein Gewicht die Bewegung herbeiführt; wird nun der Dampfhahn geschlossen und in dem Dampfcylinder durch Einspritzen kalten Wassers der darin befindliche Dampf kondensiert, so gewinnt der Luftdruck auf den Kolben wiederum das Übergewicht über das Gewicht des Pumpengestänges und durch Niedergang des Kolbens wurde jenes gehoben. Diese Maschine konnte fast nur zum Betriebe von Schachtpumpen in Bergwerken verwendet werden.

4) a) Der eigentliche Schöpfer der Dampfmaschine ist der Engländer James Watt (1765), welchen Boulton in seinen Unternehmungen unterstützte. Er beseitigte das Einspritzen des Wassers, indem er die verbrauchten Dämpfe in ein besonderes Gefäß behufs der Kondensation (Kondensator) leitete, er brachte eine besondere Pumpe (Luftpumpe) an, um die Luft und das durch die Kondensation des

Dampfes entstandene Wasser wegzuschaffen, er schloß den Dampfcylinder und beseitigte hiedurch den Luftdruck, er wendete den Dampfdruck beim Auf- und Niedergange des Kolbens (doppeltwirkende Maschine) an, er verwandelte die geradlinige oder hin- und hergehende Bewegung durch Anwendung der Kurbel in eine rotierende, er erfand eine am Balancier in Form eines Parallelogrammes so angebrachte Stangenverbindung (Wattsches Parallelogramm), daß zwei daran befestigte Kolbenstangen sich senkrecht hinauf- und herabbewegen müssen, er führte behufs Regulierung des Dampfzuflusses das Centrifugalpendel (konisches Pendel, Regulator) ein u. s. w.

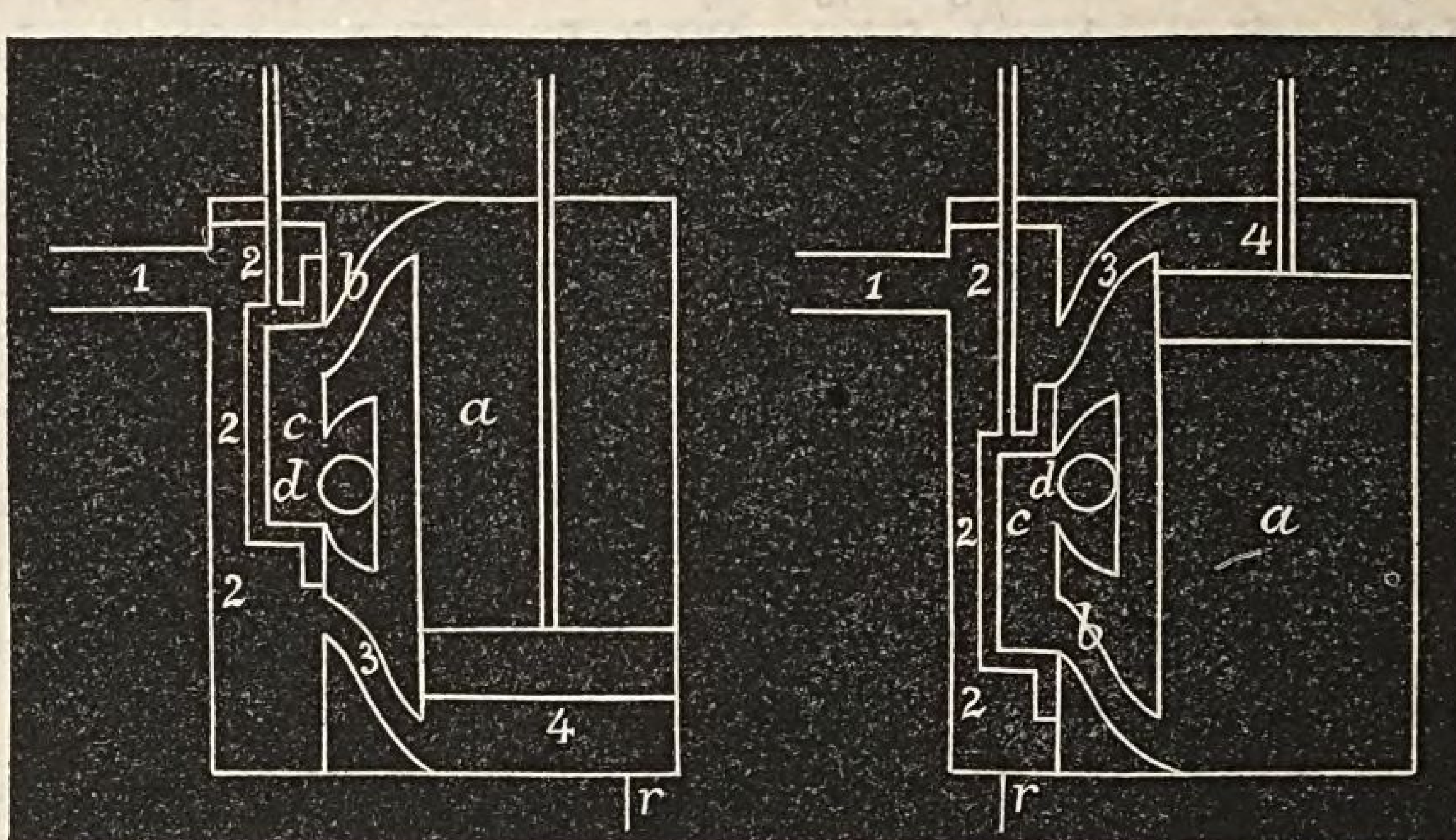
b) Man hat einfachwirkende und doppeltwirkende Wattsche Dampfmaschinen. Bei jenen bewirkt der Dampf nur den Aufgang des Kolbens, den Niedergang dagegen der atmosphärische Druck. Bei diesen aber bringt der Dampf sowohl den Niedergang als auch den Aufgang des Kolbens hervor, indem er abwechselnd auf seine beiden Flächen wirkt und gleichzeitig der verbrauchte Dampf auf der entgegengesetzten Seite durch seinen Abfluß nach dem Kondensator kondensiert und dadurch ein luftleerer Raum hervorgebracht wird. Die Dampfmaschinen sind entweder stationäre (fixe, feststehende) oder lokomotive (den Ort verändernde). Jene werden als Betriebskräfte zu industriellen Zwecken aufgestellt, diese sind die Wagenmaschinen bei den Dampfwagen oder Eisenbahnlokomotiven und die Schiffsmaschinen bei den Dampfschiffen. Die Lokomobilen. Man unterscheidet wohl Niederdruck- und Hochdruckmaschinen, besser Maschinen mit oder ohne Kondensation. Bei den ersteren steigt der Dampfdruck im Kessel selten über 3½ Atmosphären (Überdruck", § 189, 6) und wird der Gegendruck der Luft durch Anwendung des Wattschen Kondensators zum erheblichen Teil unschädlich gemacht. Bei den Hochdruckmaschinen dagegen tritt der verbrauchte Dampf aus dem Cylinder unmittelbar in die Luft, so daß durch deren Gegendruck eine volle Atmosphäre verloren geht. Die Niederdruckmaschinen leisten bei gleichem Brennmaterialien-Verbrauch eine größere nutzbare Arbeit, sind aber komplicierter und kostspieliger in der Anlage, als Hochdruckmaschinen und erfordern namentlich große Mengen kalten Wassers zur Kondensation; sie eignen sich daher vorzugsweise als stationäre Maschinen und Schiffsmaschinen. Die Hochdruckmaschinen dagegen können bei gleicher Arbeitsleistung einfacher und in bedeutend kleineren Dimensionen ausgeführt werden, erfordern aber einen größeren Aufwand an Brennmaterial. Sie werden hauptsächlich da angewendet, wo Raumersparnis in erster Linie zu berücksichtigen ist, also namentlich bei Eisenbahn-Lokomotiven und Lokomobilen.

c) Diejenige wichtige Vorrichtung, durch welche es möglich geworden ist, den Dampf abwechselnd auf den beiden Seiten des Kolbens wirken zu lassen, und welche daher gleichsam als der Schlüssel zu den doppeltwirkenden Maschinen betrachtet werden muß, ist die Selbststeuerung, da früher das Ventil jedesmal auf- und zugedreht werden

mußte. Der Dampf gelangt aus dem Dampfkessel durch das Dampfrohr zuerst in den Dampfkasten und aus diesem erst in den Dampfcylinder, wo er auf dessen Kolben, von welchem eine Stange nach dem Balancier hinführt, seine Wirkung ausübt. Der Dampfkasten und der Dampfcylinder sind zwei neben einander sich befindende Räume, deren Scheidewand oben und unten Spalten hat; im Dampfkasten wird der sog. Schieber durch den Mechanismus der Maschine selbst in der Art hin- und herbewegt, daß sie abwechselnd die Spalten schließt, wodurch der Dampf abwechselnd über und unter den Kolben in den Cylinder tritt, gleichzeitig aber auch abwechselnd der unnötig gewordene Dampf unter und über dem Kolben entweicht.

Die Einrichtung des Schiebers und seine zwei Hauptstellungen geben die Figuren 126 A und 126 B an. Bei der unteren Stellung des Kolbens in Figur 126 A steht der Schieber oben, es tritt dabei

Figur 126 A. Figur 126 B.



der Dampf durch das Dampfrohr 1 in den Dampfkasten 2, 2, 2, von hier durch den Kanal oder Spalte 3 in den unteren Raum des Cylinders 4, während der Dampf aus dem oberen Raume a durch den Kanal b in den Raum c und von hier durch eine Röhre d entweder in den Kondensator, wie bei den stationären Dampfmaschinen, oder ins Freie, wie bei den Lokomotiven, entweicht. Die obere Stellung des Kolbens in Figur 126 B erfordert die untere Stellung des Schiebers. Die Zeichnung ist leicht zu verstehen, da die Ziffern wieder den Weg des einströmenden, die Buchstaben den des ausströmenden Dampfes angeben, indem die schmale Schieberstange bei 2 den Übergang des Dampfes aus der Röhre 1 in 3 nicht hindert.

Indem nun die abwechselnd hinauf- und herabgehende Kolbenstange an einem Arme des Balanciers wirkt, an dem andern aber Leitstangen u. s. w. angebracht sind, kann die Dampfmaschine zu den mannigfachsten Verrichtungen gebraucht werden, nicht nur zum Heben und Ziehen von Lasten, sondern auch zum Treiben der verschiedenartigsten Fabrikmaschinen, indem durch Anwendung der Kurbel Räder in Bewegung gesetzt werden.

Die Watt'sche Dampfmaschine zeigt im wesentlichen folgende Teile:

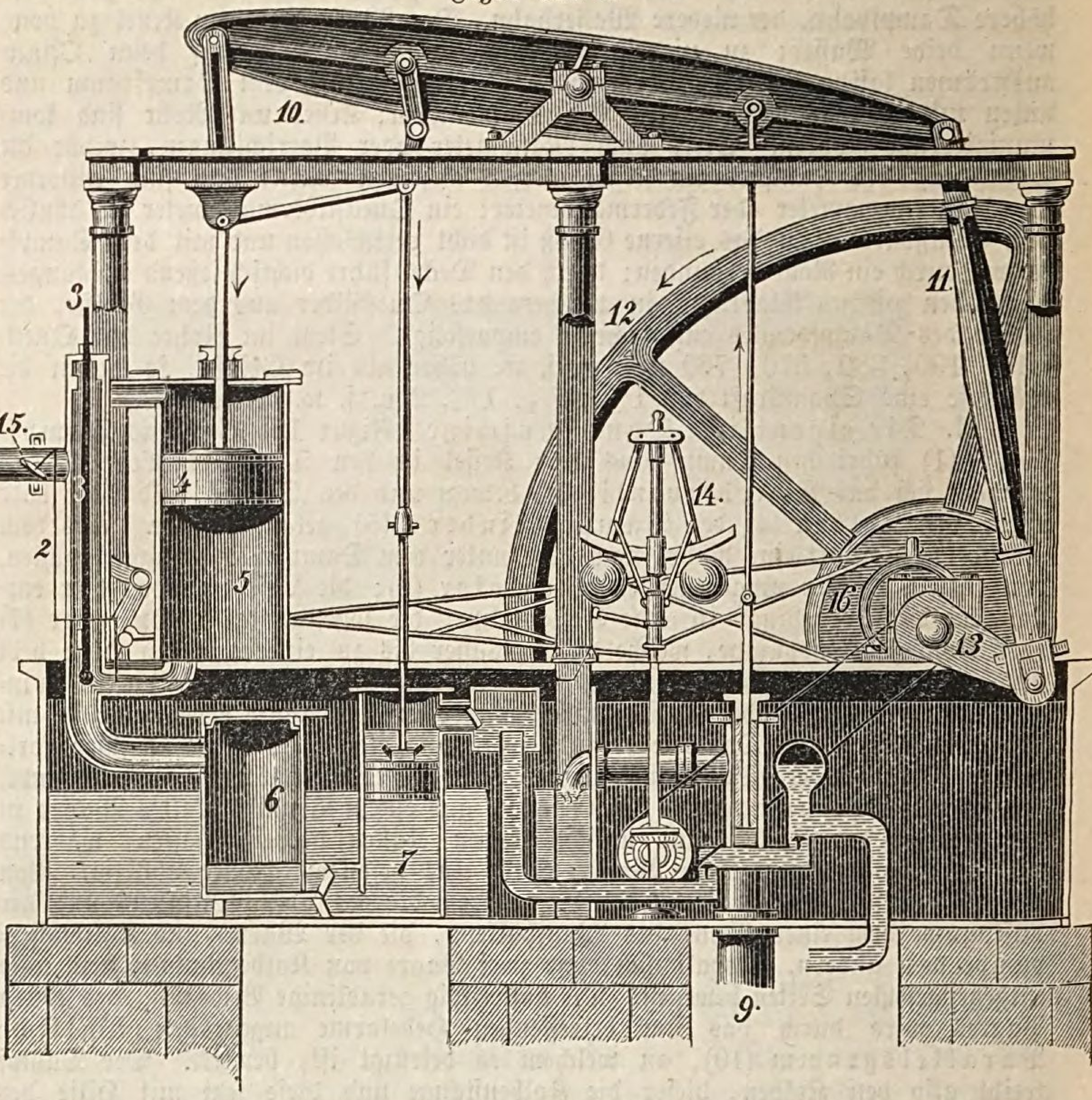
I. Dampfkessel aus Eisen- oder Kupferplatten, cylindrisch mit konkavem Boden — Rost, Schornstein. Am Kessel befinden sich 1) das Mannloch behufs Reinigung des Kessels vom Kesselstein, 2) der Schwimmer behufs Erhaltung des Normalstandes des Wassers mittelst des aus dem Kondensator kommenden warmen Wassers. Im Innern befindet sich auf dem Wasser eine Sandsteinplatte, hängend an einem Metallstabe, welcher außerhalb über dem Kessel an einem mit einem Gegengewichte versehenen Hebel befestigt ist, durch welchen ein Ventil in einer oben erweiterten und in den Kessel führenden Röhre (Speiseröhre) bewegt wird. 3) Sicherheitsventile, die sich bei zu großer Spannkraft des Dampfes öffnen und demselben ein Ausströmen gestatten. 4) Probierhähne und zwar der höhere Dampfhahn, der niedere Wasserhahn. Das Wasser steht im Kessel zu hoch, wenn beide Wasser; zu niedrig dagegen, wenn beide Dampf beim Öffnen ausströmen lassen. 5) Wasserstandsrohr, oben mit dem Dampfraum und unten mit dem Wasserraum des Kessels verbunden; Kessel und Rohr sind kommunizierende Röhren. Stets auch Manometer oder Vorrichtungen, welche die Spannung des Dampfes im Kessel allezeit anzeigen sollen; dies sind entweder Quecksilbermanometer oder Federmanometer; ein Quecksilbermanometer ist ähnlich dem Gefäßbarometer; das eiserne Gefäß ist dicht verschlossen und mit dem Dampfraume durch ein Rohr verbunden; durch den Deckel führt dichtschließend ein langes, auch oben offenes Glasrohr, in welchem das Quecksilber aus dem Gefäße, der Größe des Dampfdruckes entsprechend, emporsteigt. Steht im Rohre das Quecksilber 190, 380, 570, 760 mm u. s. w. höher als im Gefäße, so haben die Dämpfe eine Spannkraft von $1^1/_4$, $1^1/_2$, $1^3/_4$, 2 u. s. w. Atmosphären.

II. Die eigentliche Dampfmaschine. Figur 126 C. Das Dampfrohr (1) führt den Dampf aus dem Kessel in den Dampfkasten (2), in welchem sich das Schieberventil (3) bewegt und den Dampf bald über bald unter den Kolben (4) des Dampfcylinders (5) gelangen läßt. Aus dem Dampfkasten führt eine Röhre nach dem unter dem Dampfcylinder angebrachten, von kaltem Wasser umgebenen Kondensator (6); die Luft und das hier entstandene Wasser gelangt in eine Saugpumpe, die sogenannte Luftpumpe (7) oder Kondensationspumpe, welche dieses Wasser bis zu einer gewissen Höhe hebt und einem Raume übergiebt, aus welchem eine zweite Pumpe, die Warmwasserpumpe (8) oder Speisepumpe dasselbe in eine Röhre erhebt, welche mit der Speiseröhre am Dampfkessel in Verbindung steht. Dieselbe ist hier fortgelassen, um andere Teile nicht zu verdecken. Endlich hat eine dritte Pumpe, die Kaltwasserpumpe (9) das Geschäft, aus einem Brunnen kaltes Wasser in den großen den Kondensator umschließenden Kasten herbeizuschaffen, während das darin warm gewordene Wasser durch eine besondere Röhre abfließt. Von den vier vorkommenden Kolbenstangen gehören die des Dampfcylinders und der Luftpumpe dem einen Arme des Wagebalkens, die der Warm- und Kaltwasserpumpe dem andern, weshalb sich diese zwei Paare von Kolbenstangen stets nach entgegengesetzten Seiten bewegen. Die notwendig geradlinige Bewegung des ersten Paares wird durch das am betreffenden Hebelarme angebrachte Wattsche Parallelogramm (10), an welchem es befestigt ist, bewirkt. Der Dampf treibt also den Kolben, dieser die Kolbenstange und diese setzt mit Hilfe des Parallelogramms den Wagebalken in eine auf- und niedergehende Bewegung; indem nun vom andern Ende des Wagebalkens eine Leitstange (11) zu der mit der Achse des Schwungrades (12) verbundenen Kurbel (13) geht, muß durch die Bewegung des Wagebalkens die Rotation des Schwungrades hervorgebracht werden, welches der ganzen Maschine erst eine gleichförmige Bewegung giebt, und sie zugleich über die sogenannten toten Punkte hinwegbringt. Die Bewegung des Kolbens ist ungleichmäßig, sie wird desto langsamer, je mehr er sich seinem höchsten und tiefsten Stande nähert, welche zwei Stände in den Augenblicken stattfinden, wo Leitstange und Kurbel in eine gerade Linie fallen (sich verlängernd oder sich zum Teil deckend), also die Leitstange die Kurbel nicht fortführen kann, sondern durch sie nur einen senkrechten Druck auf die Achse des Rades ausübt (tote Punkte).

Den Dampfzufluß aus dem Kessel nach dem Dampfkasten reguliert das konische Pendel (14), welches mittelst einer um seine Achse einerseits und um eine auf der Achse des Schwungrades sitzende Scheibe andererseits gelegten Schnur ohne Ende durch dieses Rad seine Rotation erhält, in Folge welcher durch Vermittelung von Winkelhebeln eine Klappe (15) im Dampfrohre dieses desto mehr schließt, je schneller die Kolbenbewegung ist.

Die Bewegung des Schiebers endlich wird bewirkt entweder durch einen Seitenarm der Kolbenstange im Dampfcylinder oder durch eine an der Achse des Schwungrades befestigte excentrische Scheibe (16), um welche ein ver-

Figur 126 C.



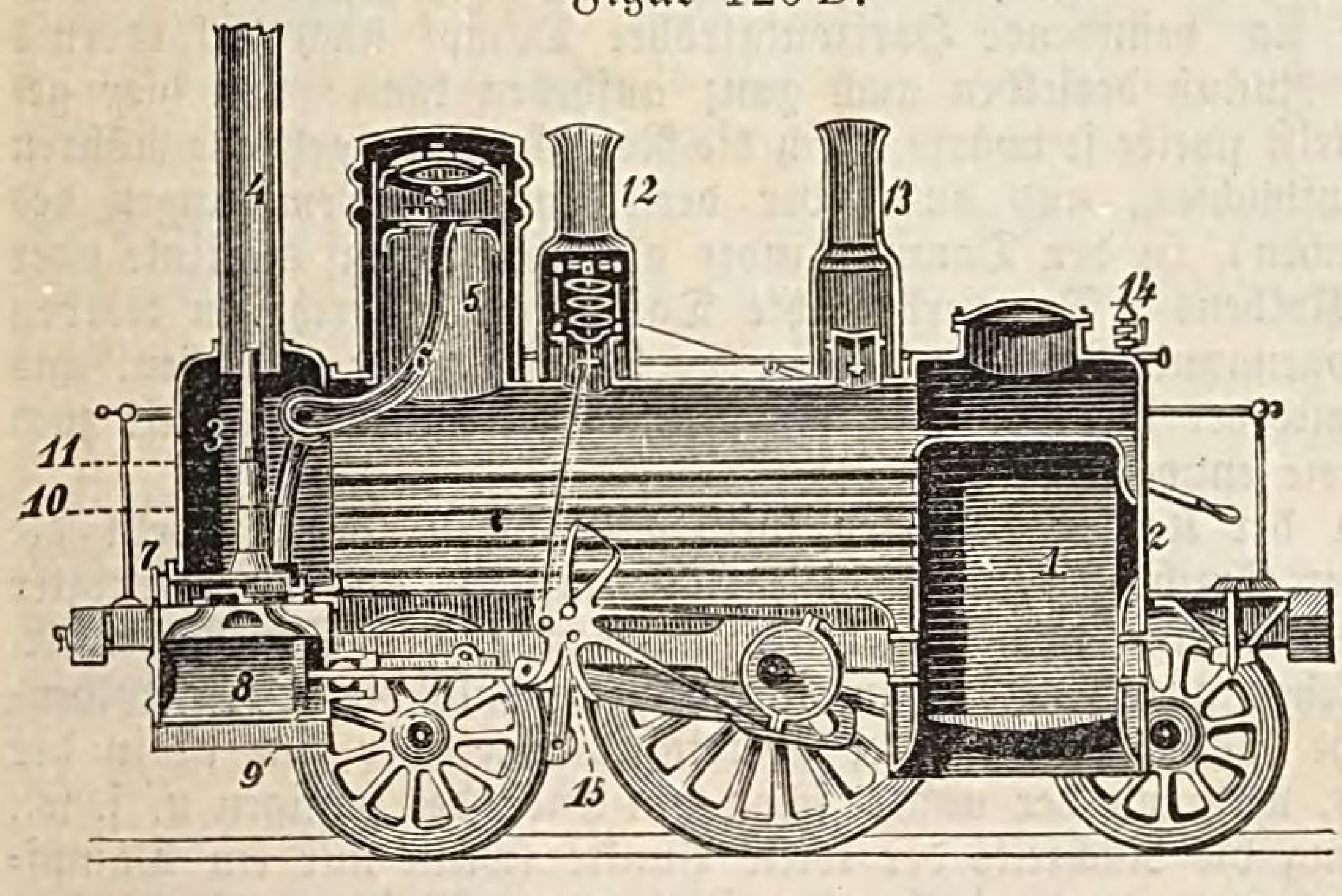
schiebbarer Ring liegt, an welchem Stangen angebracht sind, die mittelst eines Winkelhebels den Schieber bewegen. Bei der Bewegung des Schwungrades kommt der große Teil der excentrischen Scheibe nach einander rechts, unten, links, oben (oder auch rechts, oben, links, unten) zu liegen, wodurch der Ring, also auch die Stangen von rechts nach links und dann von links nach rechts bei jeder Umdrehung des Rades geschoben werden, was mittelst des Winkelhebels die herauf- und herabwärtsgehende Bewegung des Schiebers hervorbringt.

5) Zu einer Lokomotive (Georg Stephensohn baute 1829 die erste brauchbare) gehören gewöhnlich zwei Wagen, der Hauptwagen, auf dem sich die eigentliche Maschine befindet, und der Nebenwagen

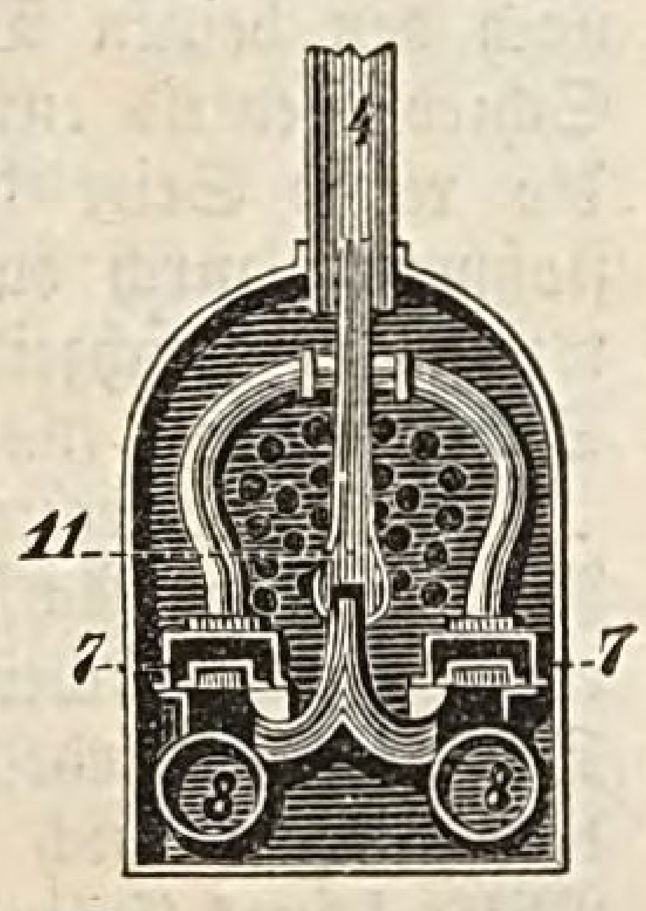
oder Tender, auf welchem sich das Wasser und das Brennmaterial befinden; zuweilen werden letztere mit der Maschine auf demselben Wagen angebracht. Eine Lokomotive hat zwei Dampfcylinder, deren Kolbenstangen mittelst Kurbeln unmittelbar die Achse eines Paares von Rädern, und da diese mit der Achse fest verbunden sind, auch die Räder selbst bewegen, wodurch die zwei anderen Paare von Rädern mit zu laufen gezwungen werden. Sie hat keinen Balancier, da ein solcher zur Vermittelung der Radbewegung nicht notwendig ist, auch kein Schwungrad, indem die Bewegung über die toten Punkte die an den Rädern rechtwinkelig zu einander gestellten Kurbeln bewirken; endlich auch keinen Kondensator, da für einen solchen weder der Raum, noch die genügende Menge kalten Wassers zu beschaffen wäre.

Der Feuerraum (1) befindet sich ganz innerhalb eines großen mit Wasser gefüllten Dampfkessels. Durch die Thür (2) wird das Brenn-

Figur 126 D.



Figur 126 E.



material eingelegt. Eine Menge Heizröhren, deren Lage Fig. 126 E deutlicher zeigt, führen die Hitze nach dem Raume (3), der Rauch entweicht durch den Schornstein (4). Der aus dem Wasser entwickelte Dampf sammelt sich in der oberhalb angebrachten cylindrischen Kuppel (5). Die Röhre (6) führt den Dampf nach unten, teilt sich dort in zwei Arme (7 Figur 126 E). Durch das Schieberventil (Figur 126 A und B) gelangt der Dampf in den Cylinder (8) und bewegt den Kolben (9) hin und her, je nachdem der Dampf auf der linken oder rechten Seite eintritt. Durch die Röhren (10) entweichen die verbrauchten Dämpfe und werden durch den Schornstein (11) fortgeführt. 12 und 13 sind Sicherheitsventile. Durch die Dampfpfeife (14) werden Signale gegeben. Der Lokomotivführer kann durch die Hebelvorrichtungen (15) die Drehung der Räder nach der einen oder nach der entgegengesetzten Seite bewirken und dadurch die Lokomotive vor- und rückwärts bewegen.

Am Hauptwagen oder der eigentlichen Lokomotive, Figur 126 D und E, unterscheiden wir das Gestell, den Dampferzeuger mit seinem Zubehör und den Dampfcylinder mit seinem Zubehör.

I. Beim Gestelle unterscheidet man die Räder, den Rahmen und die Gallerie für den Lokomotivführer. Die Räder, gewöhnlich drei Paare, sitzen an ihren Achsen fest und werden daher mit diesen zugleich bewegt. Die mittleren Räder, auf welche die Kolbenstangen unmittelbar wirken, heißen Treibräder, die vorderen und hinteren, gewöhnlich kleineren Räder, aber Fahr- oder Tragräder.

II. Beim Dampferzeuger unterscheidet man die Feuerkammer bei den Hinterrädern, die Rauchkammer mit dem Schornstein bei den Vorderrädern und dazwischen den Dampfkessel, welchen von der Feuerkammer nach der Rauchkammer eine Menge Heizröhren (80—150 von etwa 39 mm Durchmesser) durchziehen. Wie bei den stationären Dampfmaschinen sieht man hier am Kessel Sicherheitsventile, Probierhähne u. s. w., außerdem eine Dampfpfeife, um Signale zu geben.

III. Die beiden Dampfcylinder von etwa 628 mm Länge befinden sich unter der Rauchkammer oder zu beiden Seiten derselben mit ihren die Schieber einschließenden Dampfbüchsen oder Dampfkasten. Der von der Vermengung mit Wasser befreiete Dampf im Kessel erhebt sich in die sogenannte Kuppel oder in dem Dom, gelangt von da durch eine senkrechte Röhre bis zum Dampfregulator, durch welchen der Führer mittelst einer Hebelvorrichtung in eine noch im Dampfraume sich befindende Horizontalröhre Dampf nach Erfordernis strömen läßt oder den Zufluß desselben auch ganz aufheben kann; von hier gelangt der Dampf mittelst zweier seitwärts durch die Rauchkammer gehende Röhren nach den beiden Dampfbüchsen, und aus jeder derselben, den Bewegungen des Schieberventils entsprechend, in den Dampfcylinder abwechselnd auf die linke oder die rechte Seite des Kolbens. Der verbrauchte Dampf wird durch den Kolben stoßweiße durch das sogenannte Blaserohr in die Rauchkammer getrieben, aus welcher er gleichzeitig mit der durch die Heizröhren hineingelangten Rauchluft zum Schornstein ins Freie entweicht.

Die Bewegungen der Kolben bewirken mittelst Stangen und Kurbeln die Rotation der Achse der Treibräder, und diese Achse mittelst an ihr befestigter excentrischer Scheiben die hin- und hergehende Bewegung der Schieberventile. Die beiden Kurbeln stehen aber senkrecht zu einander, weshalb die beiden Kolbenbewegungen auch nicht völlig mit einander übereinstimmen; der eine ist in der Mitte seines Cylinders, während der andere schon am Ende des seinigen u. s. w., durch welche Einrichtung die Nachteile der toten Punkte (wenn nur ein Dampfcylinder wäre) aufgehoben worden, wie bei den stationären Maschinen durch das Schwungrad.

Die auf dem Hauptwagen befindliche Speisepumpe ist einerseits mit dem Dampfkessel durch eine Röhre und andererseits durch eine zweite mit einem elastischen oder verschiebbaren Teile versehene Röhre mit dem Wasser des Tenders in Verbindung; ihre Kolbenstange wird durch die des Dampfcylinders in Bewegung gesetzt und der Zufluß des Wassers wird durch besondere Hähne reguliert. Das Rückwärtsfahren bewirkt der Führer durch mittelst eines Hebels hervorgebrachte veränderte Stellung des Schiebers, wodurch Eintritt und Austritt des Dampfes ihre Stellen im Dampfcylinder sofort wechseln.

Bei den Dampfschiffen wird durch die Dampfmaschine der Fortbewegungsapparat, entweder Schaufelräder oder eine Schraube, in Umschwung gesetzt, nach welchem man Räderschiffe und Schraubenschiffe unterscheidet. — Dampfkanonen. — Bei den kalorischen Maschinen von Ericson und Andern wird als bewegende Kraft erhitzte komprimierte Luft angewendet.

6) Im allgemeinen wächst die Wirkung einer Dampfmaschine einerseits mit der Spannkraft der Dämpfe, andererseits mit der Größe und Geschwindigkeit des Kolbens; ihre Wirkung wird vermindert durch die Reibung des Kolbens, des Schiebers, durch den Gegendruck des entweichenden Dampfes, der Atmosphäre u. s. w. Bei der Berechnung der Kraft einer Dampfmaschine nach Pferdekräften legt man die An-

nahme zu Grunde, daß ein Pferd in jeder Sekunde 75 kg 1 m hoch zu heben im Stande sei. Eine Dampfmaschine ist hiernach eine Dampfmaschine von 1, 2, 3 ꝛc. Pferdekräften, je nachdem sie in je 1 Sekunde 75, 150, 225 kg 1 m hoch zu heben im Stande ist; oder wenn ihre Wirkung, wie man auch sagt, gleich ist 75, 150, 225 Meterkilogrammen. Hat der Kolben bei einer Lokomotive, wie häufig der Fall ist, eine Fläche von 739 Quadratcentimeter, und der einströmende Dampf achtfachen Atmosphärendruck, so daß nach Abzug des Gegendruckes der Atmosphäre noch siebenfacher Atmosphärendruck bleibt, und bewegen sich beide Kolben mit einer Geschwindigkeit von 150 cm in der Sekunde, so entwickelt die Maschine eine Kraft von 15519 Meterkilogrammen oder nahezu 200 Pferdekräften, wenn von Verlusten durch Reibung u. s. w. abgesehen wird.

191. 1) Die schon bei jeder Temperatur allmählig stattfindende Verwandlung fester und besonders flüssiger Körper in Luftgestalt nennt man Verdunstung, zum Unterschied von der Verdampfung, als einer solchen durch höhere Wärmegrade schnell bewirkten Verwandlung. Die den verdunstenden Körper umgebende Luft kann bei einem bestimmten Temperaturgrade nur eine bestimmte Menge Dunst aufnehmen und zwar desto mehr, je höher die Temperatur ist; hat sie den Sättigungspunkt erreicht, so hört die Verdunstung auf. Die Verdampfung der Flüssigkeiten beim Kochen findet in der ganzen Masse statt, die Verdunstung dagegen nur an ihrer Oberfläche; sie wird vorzüglich befördert durch die Vergrößerung der Oberfläche und durch Luftzug, wodurch an die Stelle der mit Dunst gesättigten Luftmassen neue, zum Aufnehmen desselben noch geeignete, gebracht werden; vermindert wird sie natürlich durch das Gegenteil.

Das Aufhängen der Wäsche und gefärbter Tücher; das Heu- und Getreidetrocknen; der Wind trocknet; das Abkühlen der Speisen durch Blasen; das Abkühlen der heißen Flüssigkeiten durch Umrühren. Die Schwüle vor und die Kühle nach Gewitterregen: dort ist die Atmosphäre mit Dünsten gesättigt und unsere Ausdünstung verhindert; hier aber ist sie durch den Regen ihres Dunstes beraubt, und wir können deshalb wieder ausdünsten. Die Schiffer bestimmen die Richtung des Windes unter anderen so, daß sie den benetzten Finger in die Höhe halten; auf der Seite, nach welcher der Wind bläset, wird die Verdunstung beschleunigt und dadurch die Abkühlung vermehrt. — Das Atmometer, ein im Freien hingestelltes Gefäß mit Wasser, zum Schutze vor Regen in einiger Entfernung mit einem Dache versehen, ist ein sehr ungenaues Maß der stattfindenden Verdunstung.

Das in der Atmosphäre sich befindende Wasser heißt Wassergas, so lange es eine Luftart ist, wobei es durchsichtig ist und die Atmosphäre trocken läßt; Dunst aber, sobald das Wassergas durch Kälte oder Zusammendrückung wieder zu Wasser zu werden anfängt, wodurch es undurchsichtig wird und feucht macht. Der Dunst besteht höchst wahrscheinlich aus lauter sehr kleinen, hohlen Wasserkügelchen oder Wasserbläschen.

2) Hygroskopische Substanzen sind solche Körper, welche durch die Feuchtigkeit irgend eine äußere Veränderung erleiden und

dadurch eben Feuchtigkeit anzeigen, was bei Körpern aller drei Naturreiche mehr oder weniger der Fall ist. Die Veränderungen sind vorzugsweise teils Gewichtsveränderungen, wie beim Thonschiefer und jedem Salze, welche durch die aufgenommene Feuchtigkeit schwerer werden; teils Volumenveränderungen, wobei eine Ausdehnung nach allen Dimensionen, wie beim Pergament und Papier, oder nach einer Seite vorzugsweise, wie bei den Haaren in die Länge, bei dem Holze und Fischbeine in die Breite, d. h. in der auf der Länge der Fibern senkrechten Richtung bemerkt wird. Auch giebt es solche Körper, welche sich durch Feuchtigkeit aufdrehen und länger werden, wie die Darmsaiten; andere, die sich verkürzen, wie gedrehte Seile.

Als man bei der Aufrichtung des an 4500 kg schweren Sixtinischen Obelisken zu Rom bei einbrechender Nacht Einhalt thun mußte, fand man ihn des Morgens über 1 Meter gehoben, weil es in der Nacht geregnet hatte, wodurch sich die Seile, mittelst deren er auf der seiner Neigung entgegengesetzten Seite an sicheren Gegenständen befestigt war, verkürzten. — Verstimmung der Saiteninstrumente, das Aufrollen der Locken bei den Frauen zur Zeit feuchter Luft.

3) Instrumente, welche die in der Atmosphäre enthaltene Feuchtigkeit anzeigen und messen, heißen Hygroskope, Feuchtigkeitsanzeiger, und Hygrometer, Feuchtigkeitsmesser. Die vorzüglichsten älteren Hygrometer sind das Haarhygrometer von Saussure und das Fischbeinhygrometer von de Luc. Sie geben nur die in der Atmosphäre als Dunst enthaltene Feuchtigkeit an. Die mechanische Einrichtung dieser Instrumente wird bei der Ansicht derselben von selbst klar, daher nur folgende Andeutungen. Feuchtigkeit verlängert, Trockenheit verkürzt das Menschenhaar, dem zuerst durch Auskochen in Lauge die Fettigkeit benommen worden ist; dasselbe gilt auch von einem Fischbeinstreifen, der aus einer Fischbeintafel nach der Quere herausgeschnitten worden ist. Jedes dieser Hygrometer hat zwei Fundamentalpunkte: den Punkt größter Feuchtigkeit mit 100, und den Punkt größter Trockenheit mit 0 bezeichnet; die Fundamentalentfernung enthält also bei beiden 100 gleiche Teile, Grade genannt. Saussure bestimmte den Punkt größter Feuchtigkeit, indem er sein Hygrometer in eine innerhalb mit destilliertem Wasser benetzte und durch destilliertes Wasser abgesperrte Glasglocke brachte; de Luc aber, indem er es in Wasser eintauchte. Den Punkt größter Trockenheit bestimmte jener, in dem er das Hygrometer in eine mit Quecksilber abgesperrte Glasglocke brachte, worin die Luft durch vorher scharf getrocknetes kohlensaures Kalium eine Zeit lang völlig trocken gehalten wurde; dieser dagegen, indem er es in ein wohlverschlossenes zinnernes Gefäß setzte, worin er die Luft durch hineingelegten ungelöschten Kalk austrocknete. Beide Substanzen, frisch gebrannter Kalk, wie auch kohlensaures Kalium (reine Pottasche) ziehen begierig Feuchtigkeit aus der Luft an.

Die sogenannten Wetterhäuschen beruhen darauf, daß eine senkrecht herabgehende Darmsaite bei trockener Luft sich zusammendreht, bei feuchter dagegen aufdreht; infolge dessen ein durch ihr unteres Ende gehendes Stäbchen sich das eine Mal nach der einen Seite, das andere Mal nach der entgegengesetzten

bewegt, wodurch an offenen Stellen des Häuschens entweder ein Männchen mit einer Gießkanne oder ein Weibchen mit einem Regenschirm, welche Figuren an den Enden des Stäbchens befestigt sind, zum Vorschein kommt. — Bei der Pflanze Reiherschnabel (Erodium) sind die Fruchtblätter, welche um den Samen spiralförmig gewunden sind, sehr empfindlich gegen die Feuchtigkeit; bei feuchter Luft wickelt sich die Granne auf, bei trockener windet sie sich zusammen. — Wird eine Glasröhre unten mit einer tierischen Haut geschlossen und mit Quecksilber gefüllt, welches die Haut zu einem Säckchen ausdehnt, so zieht sich bei zunehmender Trockenheit die Haut zusammen und das Quecksilber steigt. — Die Darmsaiten, tierische Häute, die Pflanzenblätter ꝛc. verlieren mit der Zeit ihre Empfindlichkeit, weshalb die darauf sich gründenden Hygrometer ohne besonderen Wert sind.

Von den neueren Hygrometern, welche die in der Atmosphäre enthaltene Feuchtigkeitsmenge, den wahren Gehalt an Wasser angeben, und sich auf Verdunstung und Niederschlag gründen, merken wir uns hier nur Daniells Hygrometer (1819) und Augusts Psychrometer (1829), zu deren Kenntnis folgende Andeutungen dienen. Bei dem ersteren ist eine auf einem hölzernen Gestelle ruhende, horizontale Glasröhre an beiden Enden rechtwinkelig gebogen, die senkrecht herabgehenden ungleich langen Schenkel enden mit Glaskugeln von 30 mm Durchmesser, von denen die am kürzeren Schenkel mit Musselin oder feiner Leinwand bedeckt, die am längeren aber, äußerlich in der Mitte mit einer vergoldeten Zone versehen, mit Äther (Schwefeläther) zum Teil gefüllt ist, in welchem sich die Kugel eines kleinen, in dem längeren Schenkel sich hinauf erstreckenden Thermometers befindet; außerdem sieht man an dem hölzernen Gestelle noch ein zweites Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur. Die Kugeln und die Verbindungsröhre sind luftleer gemacht, indem in der mit Musselin bedeckten Kugel ursprünglich eine kleine Öffnung war, durch welche die innere Luft mittelst der durch Kochen des Äthers in der anderen Kugel entstandenen Ätherdämpfe herausgetrieben und welche, sobald Ätherdämpfe herausströmten, an einer Lampe schnell zugeschmolzen wurde. Dieser Raum ist stets mit Ätherdämpfen angefüllt; werden nur einige Tropfen Schwefeläther auf den Musselin gegossen, so verdunsten diese, wodurch nicht nur der Kugel, sondern auch den inneren Ätherdämpfen so viel Wärme entzogen wird, daß sich 1) diese inneren Ätherdämpfe niederschlagen, 2) daß wegen des nun auch ätherdampflosen inneren Raumes schnell neue Ätherdämpfe in der anderen Kugel entstehen, und dieser dadurch Wärme entzogen, sie also abgekühlt wird, 3) hierdurch auf ihr ein Niederschlag der in der Atmosphäre sich befindenden Wasserdämpfe stattfindet. Die durch das innere Thermometer angegebene Temperatur, bei welcher sich dieser Niederschlag durch ein schwaches Betauen, besonders der vergoldeten Zone, zu bilden anfängt, also die Temperatur der Taubildung, giebt den Kondensationspunkt der Wasserdämpfe an, und die Differenz der durch das äußere und innere Thermometer angegebenen Temperaturen giebt an, wie viel die gegenwärtige Lufttemperatur abnehmen müsse, damit sich der Niederschlag der in der Atmosphäre befindlichen Dämpfe bilden könne; woraus auf

den Feuchtigkeitszustand der Luft geschlossen werden kann. Unter dem Taupunkte verstehen wir diejenige Temperatur, bei welcher die Wasserdünste das Maximum ihrer Dichtigkeit haben, die Luft also mit Wasserdünsten gesättigt ist, so daß bei einer Erniedrigung derselben der Niederschlag, die Kondensation erfolgt. Es liegt hiernach der Taupunkt etwas höher als der Kondensationspunkt; beobachtet man daher an dem inneren Thermometer außer der Temperatur, bei welcher der Niederschlag erfolgt, auch diejenige, bei welcher er wieder verschwindet, die Verdunstungstemperatur, so wird irgendwo zwischen ihnen die Temperatur des Taupunktes liegen. Man betrachtet das Mittel aus diesen beiden Temperaturen als die Temperatur des Taupunktes. Augusts Psychrometer, welches sich darauf gründet, daß Wasser desto schneller verdunstet, je trockener die Luft, und daß in gleichem Maße die Erkaltung zunimmt, besteht aus zwei völlig mit einander übereinstimmenden Thermometern, die auf einem Holzgestelle senkrecht neben einander herabhängen, und von denen das eine seine Kugel mit Musselin oder feiner Leinwand bedeckt hat. Wird der Musselin mit reinem Wasser befeuchtet, so sinkt das zugehörige Thermometer — das angefeuchtete — wegen der durch die Verdunstung erzeugten Kälte so lange, bis die umgebende Luft mit Dünsten gesättigt ist, während das andere — das trockene — seinen Stand unverändert behält, wobei natürlich die Verdunstung und das davon abhängende Sinken oder die Erkaltung des Thermometers desto schneller vor sich gehen wird, je trockener die Luft ist, d. h. je weiter sie von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Differenz der durch die beiden Thermometer angegebenen Temperaturen — die psychrometrische Differenz — ist die Differenz zwischen der wirklichen Lufttemperatur und der Verdunstungstemperatur, d. i. der durch die Verdunstung verminderten Lufttemperatur, und desto größer, je weniger Dünste die Luft enthält, je mehr sie deren also noch aufnehmen kann. Die Thermometer werden nur dann gleich hoch stehen, und die Differenz wird also Null sein, wenn die Luft mit Dünsten gesättigt ist. Aus der psychrometrischen Differenz läßt sich mittelst der von August berechneten Tabellen der jedesmalige Wassergehalt der Atmosphäre ermitteln.

Hygrometrie. — Das Dalton'sche Gesetz, nach welchem jedes Gas in einem Raume, welcher schon ein anderes Gas enthält, ebenso (nur etwas langsamer) sich ausbreitet, als wenn der Raum leer wäre, gilt auch für die Dämpfe. Es vermag ein mit Luft von beliebigem Drucke erfüllter Raum ebensoviel an Wasserdämpfen aufzunehmen, als wenn derselbe vollkommen luftleer wäre. Bringt man in einen luftleeren und einen mit trockener Luft erfüllten Raum von gleicher Größe bei gleicher Temperatur eine genügende Wassermenge, so bildet sich in beiden dieselbe Dampfmenge, mit dem einzigen Unterschiede, daß im luftleeren Raume der Sättigungspunkt nahezu augenblicklich, im lufterfüllten dagegen erst nach einiger Zeit eintritt; die vorhandenen Luftmoleküle verzögern nur die gleichförmige Ausbreitung der Wassermoleküle im Raume. Der Druck der Luft wird um den Druck des entstandenen Dampfes vermehrt; vermag die Luft bei gleichbleibendem Drucke sich auszudehnen, so tritt statt der Druckvergrößerung eine entsprechende Raumvergrößerung, nach Maßgabe des Mariotte'schen Gesetzes ein. Da die Temperatur der atmosphärischen Luft oft schnell steigt, von der Erdober-

fläche aber die Entstehung und Ausbreitung der Wasserdämpfe in der Regel nicht so schnell erfolgt, um die erwärmte Luft stets gesättigt zu erhalten, so ist dieselbe, namentlich bei Tage, nur selten mit Feuchtigkeit gesättigt.

Das Daniell'sche Hygrometer gestattet die Bestimmung des Temperaturgrades, bis zu welchem die Luft sich abkühlen müßte, um bei dem vorhandenen Feuchtigkeitsgehalt gesättigt zu sein. Mit Hülfe der nachstehenden Tabelle läßt sich alsdann sowohl der Druck des Wasserdampfes in der Luft finden, wie auch die Gewichtsmenge Wassers berechnen, welche ein Raum von gegebener Größe schon in Dampfform enthält, und welche er bei der herrschenden Temperatur noch aufzunehmen vermag.

Sättigungspunkt	Druck des Wasserdampfes	Gewicht eines Kubikmeters
— 20° C.	0,9 mm	1 g
— 10° „	2,1 „	2 „
— 5° „	3,1 „	3 „
0° „	4,6 „	5 „
+ 5° „	6,5 „	7 „
+ 10° „	9,2 „	9 „
+ 15° „	12,7 „	13 „
+ 20° „	17,4 „	17 „
+ 25° „	23,5 „	23 „
+ 30° „	31,5 „	30 „

5. Von den Wärme- und Hygrometeoren.

192. Auf der Wärme und Kälte beruhen die bei weitem meisten Erscheinungen in der Atmosphäre, von denen wir hier die vorzüglichsten mit einigen Erläuterungen anführen wollen.

I. 1) Die Wärme der Atmosphäre nimmt im allgemeinen an allen Orten der Erde mit der Höhe ab, und zwar im Mittel bei je 160 bis 180 m um 1° C. Diese Abnahme der Wärme in der Atmosphäre mit der Höhe ist die Folge dessen, daß die obere dünne Luft einen kleineren Teil der wärmenden Sonnenstrahlen absorbiert, als die untere dichtere; daß die von der Erde reflektierten Wärmestrahlen mit der Höhe an Umfang zunehmende Luftschichten treffen, also verhältnismäßig weniger auf sie wirken können, was eben so von derjenigen Wärme gilt, welche die von der Sonne erwärmte Erdoberfläche an die sie umgebende Luft abgiebt und welche durch Fortleitung und Luftströmungen sich verbreitet. Die Hauptursache der schnellen Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe ist die bedeutende Zunahme der Wärmecapacität der Luft, wie aller Gase (§ 194), mit Abnahme des Druckes, so daß die Temperatur einer aufsteigenden Luftmenge bei gleichbleibender Wärmemenge eine starke Erniedrigung erfahren muß. Aber die Erde hat auch eine eigentümliche Wärme, welche bedeutend höher als die des Weltraums ist; sie nimmt mit der Tiefe im Durchschnitt auf je 32 m um 1° C. zu, wie wir das aus der die mittlere Temperatur der Orte übertreffenden Temperatur der Mineralquellen und artesischen Brunnen, besonders aber aus der durch alle Versuche bestätigten Zunahme der Temperatur im festen Boden, schließen dürfen.

Mittlere Tagestemperatur, mittlere Jahrestemperatur, mittlere Temperatur des Ortes. — Die isothermischen Linien oder Isothermen von A. von Humboldt (1817) verbinden diejenigen Punkte der Erdoberfläche, welche gleiche mittlere Jahrestemperatur haben; sie laufen mit dem geographischen Äquator nicht parallel, eben so wenig mit dem thermischen Äquator, d. i. mit der Linie der größten Wärme, welche etwas nördlich vom geographischen Äquatar fällt. Die Kältepole, d. i. die kältesten Punkte der Erde, fallen auch nicht mit den Erdpolen zusammen. Die nördliche Erdhälfte zeigt eine höhere Temperatur als die südliche und hat zwei Kältepole, den einen im Norden Asiens, den andern im Norden Amerikas. Isotheren sind diejenigen Linien, welche durch Orte gleicher Sommerwärme, Isochimenen dagegen diejenigen Linien, welche durch Orte gleicher Winterkälte gezogen sind. — Die Erde könnte wohl im Innern im glühenden oder geschmolzenen Zustande sein — Vulkane. — Die Pflanzenreste der Polarländer deuten darauf, daß die Oberfläche der Erde in der vorgeschichtlichen Zeit wärmer als jetzt gewesen sei. — Die mittlere Jahrestemperatur ist in Berlin 9° C., in Breslau 7,9° C., in Stuttgart 10° C., in Paris 10,75° C.

2) Die Sommerwärme und Winterkälte sind Folge der Stellung der Erde zur Sonne, so wie die tägliche regelmäßige Zu- und Abnahme der Wärme ihren Grund in der größeren oder geringeren Erhebung der Sonne über den Horizont und der damit verbundenen längeren oder kürzeren Einwirkung der Sonne hat. Senkrecht auffallende Sonnenstrahlen wirken am stärksten; je höher aber die Sonne über dem Horizonte steht, unter einem desto größeren Einfallswinkel fallen die Strahlen auf, desto mehr entwickeln sie Wärme. So wie also die Sonne im Sommer größere Tagesbogen über dem Horizonte beschreibt, so muß auch die Wärme von Tage zu Tage zunehmen, und so muß auch am Vormittage jedes Tages die Wärme zunehmen, je höher die Sonne in ihrem Tagesbogen heraufrückt; und im umgekehrten Falle, im Winter, wiewohl uns da die Sonne etwas näher ist, als im Sommer, und des Nachmittags, auch umgekehrt. Die Sommerwärme sollte also bei uns im Juni, zur Zeit des Sommersolstitiums, wo die Sonne den größten Tagesbogen beschreibt, und die Tageswärme zu Mittage, wo die Sonne in ihrem Tagesbogen am höchsten über dem Horizonte steht, am größten sein; aber jenes Maximum fällt erst in den Juli, dieses Nachmittags zwischen 2 und 3 Uhr; weil die aufs höchste erwärmte Erde (im Juni, zu Mittage) noch einer gewissen Zeit bedarf, um der Atmosphäre die möglichst größte Wärme mitzuteilen. Die niedrigste Tageswärme tritt kurz vor Sonnenaufgang ein; die niedrigste Jahreswärme meist im Januar, also nach der im December stattgefundenen niedrigsten Mittagshöhe der Sonne.

Auf den schiefen, nach Süden liegenden Dächern der Häuser schmilzt der Schnee schnell.

II. 1) Der Wind ist bewegte Luft, also ein Luftstrom. Die Luft strömt nicht nur in luftleere Räume, sondern auch überall hin, wo dünnere Luft ist. Entstehen daher auf irgend eine Weise in der Atmosphäre Luftmassen von ungleicher Dichtigkeit, so verteilt sich die dichtere Luft so lange, bis ein Gleichgewicht hergestellt ist; es entstehen Luftströme von der dichteren Luft nach der dünneren; daher bei Feuersbrünsten, selbst wenn vorher die Luft ruhig war, Wind entsteht. Dieses

Gleichgewicht in der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft, oder die Windstille, wird vorzüglich durch ungleiche Erwärmung, aber auch durch Anziehung des Mondes, durch Verdunstung, und gewiß noch durch manche andere uns unbekannte Ursachen aufgehoben.

2) Zu den regelmäßigen und bestimmten Winden, welche sich vorzugsweise in der heißen Zone zeigen, gehören der stets wehende merkwürdige Ostwind oder die Passatwinde, die Moussons, so wie die Land- und Seewinde. Der Ostwind wird erklärt aus der ungleichen Erwärmung der Atmosphäre in den Polargegenden und zwischen den Wendekreisen und aus der Achsenbewegung der Erde von Westen nach Osten. Zwischen den Wendekreisen wird nämlich die Luft am stärksten erwärmt; specifisch leichter geworden, erhebt sie sich und es entstehen zwei Luftströme in entgegengesetzten Richtungen, nämlich eine Strömung der warmen Luft von dem Äquator nach den Polen in den höheren Regionen der Atmosphäre, und eine Strömung der kalten Luft von den Polen nach dem Äquator in den unteren Regionen (äquatoriale und polare Strom). Da aber bei der Achsenbewegung der kugelförmigen Erde von Westen nach Osten die Äquatorialgegenden sich schneller als die Polargegenden bewegen, was auch von den entsprechenden Luftregionen gilt, so hat die zwischen den Wendekreisen angekommene Polarluft eine langsamere Bewegung nach Osten, als der unter ihr sich fortbewegende Erdboden, oder das mit der Erde daselbst eben dahin fortgeführte Schiff; weshalb sie, in ihrer Rotationsgeschwindigkeit von Westen nach Osten zurückbleibend, als östlicher Strom auftritt, welcher sich aber in der nördlichen Erdhälfte als Nordostwind, in der südlichen als Südostwind zeigt, und zwar jener aus dem Nordstrom und dem durch die Erdrotation hervorgebrachten Oststrome, dieser aus dem Süd- und dem Oststrome entstanden. Nur in den großen Meeren zeigen sich die Passatwinde in voller Regelmäßigkeit. Die nordöstliche erstreckt sich bis auf etwa 30°, der südöstliche bis auf 25° der entsprechenden Breiten; sie werden durch die Region der Windstillen oder Calmen von einander getrennt, einer nördlich vom Äquator gelegenen und etwa 6° breiten Zone, wo die Sonne die Luft am stärksten erwärmt, welche, indem sie aufs lebhafteste aufsteigt, den horizontalen Strom mannichfach stört und ungeheure Massen Wasserdampf mit in die Höhe nimmt; weshalb in dieser Zone Windstille, Stürme und Gewitterregen mit einander abwechseln. In den oberen Luftregionen muß es in der nördlichen Erdhälfte einen Südwestwind, in der südlichen dagegen einen Nordwestwind geben, was auch Erfahrungen bestätigen, z. B. wenn auf der Spitze des Pics von Teneriffa ein südwestlicher Wind weht, findet unten am Meere bei der Insel ein Nordost-Passatwind statt. Da der warme obere Strom, je weiter er nach den Polen hingelangt, in desto kältere Regionen kommt, so muß er, durch die Erkaltung specifisch schwerer geworden, sich senken, weshalb die beiden Ströme in den gemäßigten Zonen häufig nicht über-, sondern nebeneinander fortgehen und an einem und dem-

selben Orte mit einander abwechseln, so daß wir Nordostwind oder Südwestwind haben, je nachdem die polare Luftströmung oder die ursprünglich höhere äquatoriale, welche in Folge der Abkühlung sich herabgesenkt hat, weht. Das Zusammentreffen der beiden Ströme, das Eindringen des einen in den anderen, das Verdrängen endlich des einen durch den anderen bewirken eine Drehung der Windrichtung. Bei uns dreht sich der Wind im allgemeinen von Norden nach Osten, Süden, Westen — von welchem Drehungsgesetze des Windes Dove die vollständigste Erklärung gegeben hat. — Die Moussons wehen in der Nähe einiger Küstenländer des indischen Ozeans zwischen den Wendekreisen, z. B. in Vorderindien, vom April bis Oktober Süd-West, in der anderen Hälfte aber nach der entgegengesetzten Richtung; so wie die Land- und Seewinde auf Inseln, am Tage von der See her, in der Nacht vom Lande her. Die letzteren werden genügend aus der ungleichen Erwärmung des Landes und des Meeres am Tage und in der Nacht erklärt. Am Tage wird nämlich durch die Sonne das Land mehr als das Meer erwärmt und hat daher die dünnere Luft; nach dem Untergange der Sonne aber kühlt sich die Erde infolge stärkerer Ausstrahlung und geringerer Wärmecapacität bedeutend schneller als das Meer ab, wahrscheinlich deshalb, weil das erkaltete obere Wasser spezifisch schwerer geworden, sich herabsenkt, und wärmeres an seine Stelle heraufkommt, und erhält dadurch die dichtere Luft; woraus, da die dichtere Luft immer nach der dünneren strömt, die entgegengesetzten Luftströmungen am Tage und in der Nacht in der angegebenen Art notwendig sind. — Eine ähnliche Bewandtnis hat es mit unseren Morgen- und Abendwinden bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, wobei die Erde auf ihrer Tagseite von der Sonne erwärmt wird, während ihre Nachtseite, da die Sonne da abwesend ist, erkaltet. So muß auch wegen ungleicher Erwärmung der Luft Wind entstehen, wenn eine große Wolke vor die Sonne tritt. Die durch sie beschattete Luft kühlt sich nämlich ab, wird dichter und senkt sich, während benachbarte Luft, die von der Sonne beschienen wurde und unverändert ihre Dichtigkeit behielt oder vielleicht gar dünner wurde, jetzt als die spezifisch leichtere Luft an ihrer Stelle strömt und zugleich die Wolke fortbewegt.

Benutzung der Passatwinde bei Seereisen. Zu den unbeständigen, der Gesundheit nachteiligen Winden gehören z. B. der Harmattan an der Westküste Afrikas, der Chamsin in Ägypten, der Samum (Smum, Samiel) in Arabien, Persien, Syrien, der aus Afrikas Sandwüste kommende Sirocco in Sizilien und Italien, der Föhn in den Alpen u. s. w. — Doves Windtheorie.

3) Gewöhnlich wehen die Winde horizontal, zuweilen aber auch auf- oder niedersteigend; ihre Geschwindigkeit und die davon abhängende Stärke der Wirkung sind sehr verschieden, daher die Ausdrücke: gelinder Wind, starker oder heftiger Wind, Sturm, Orkan. Ein gewöhnlicher Wind hat 3 bis 4 m, ein starker heftiger Wind 7,8 m bis 9,4 m, ein

Sturm 12,5 m bis 18,8 m, ein Orkan, der Bäume entwurzelt und Häuser niederreißt, 31 bis 40 Meter Geschwindigkeit.

Die Wirbelwinde, Tromben, auch Luftsäulen, die sich gewaltsam um sich selbst drehen und zugleich fortrücken, entstehen, wenn starke Winde einander entgegenblasen, an der Stelle, wo sie zusammentreffen. Ihre Wirkung ist furchtbar; sie reißen Bäume und Häuser nieder, führen Vieh, Menschen, auch andere Körper, auf die sie treffen, mit sich fort. Wenn sie sich über Flüssen, Seen oder Meeren bilden, wobei sie Wasser zu einer Höhe von Hunderten von Fußen heben, heißen sie Wasserhosen.

Sandwirbel, Sandsäulen. Die Winde reinigen die Luft von schädlichen Dünsten. — Anemoskope oder Plageskope und Anemometer. — Bei den Wind- und Wasserhosen mögen auch elektrische Kräfte mitwirken.

III. Das Wasser der Meere, Seen und Flüsse und der feuchten festen Oberfläche der Erde verdunstet beständig, und zwar desto stärker, je höher die Temperatur und je größer der Luftzug ist (191). Dieses verdunstete und anfangs als Wassergas in der Atmosphäre enthaltene Wasser kommt auf die Erde, wenn auch selten an die Orte, an welchen es verdunstete, in mancherlei Formen zurück, meist dadurch, daß es durch Erkalten die Gasform verloren hat, und flüssig, wie beim Tau und Regen, oder fest, wie beim Reif, Schnee und Hagel, geworden ist; auf Verdunstung und Niederschlag beruhen alle Hygrometeore.

1) Dieses Wassergas, an sich durchsichtig, wird bei abnehmender Wärme zu Dunst, welcher, aus Wasserbläschen bestehend, die Atmosphäre weniger durchsichtig macht und sich auf kältere Körper als Wassertropfen niederschlägt und den Tau bildet. Nach Sonnenuntergang kühlt sich die Luft ab, zunächst und am meisten die untersten Schichten, welche zugleich das meiste Wassergas enthalten, später, wenn die Sonne tiefer unter den Horizont sinkt, auch die höheren Luftschichten. In den untersten könnte sich daher zuerst ein Niederschlag der Wasserdünste zu Wassertröpfchen bilden, welche durch die späteren Niederschläge aus den höheren vermehrt und vergrößert würden. Da aber diese Niederschläge sich nicht gleichförmig über alle Körper verbreiten, wie etwa der Regen, sondern nur über diejenigen, welche kälter als die Luft sind, so daß sie desto mehr betauen, je kälter sie sind, dieses aber von ihrer Wärmeströmung abhängt, so läßt sich die ungleiche Stärke des Taues auf verschiedenen Körpern wohl nur so erklären: je größer eines Körpers Wärmeausstrahlung ist, desto schneller und tiefer kommt seine Temperatur unter die der umgebenden Luft (2, 6, oft 8°), und desto schneller und reichlicher schlägt sich auf ihn der in dieser Luft enthaltene Wasserdunst als Tau nieder. Polierte Metalle und Steine betauen daher wenig; viel aber Glas, Seide, Baumwolle, Gras und die niederen Pflanzen, für welche der Tau ein Regen ist. Da der Tau nicht blos von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wassergase, sondern auch von dem Unterschiede der Tag- und Nachttemperatur abhängt, so bildet er sich am häufigsten im Frühjahre und Herbste, be-

sonders in heiteren und windstillen Nächten, in denen wärmere Luftschichten die Wärmeausstrahlung nicht ersetzen, die nötige Erkaltung der Körper also nicht verhindern können. — Wells 1814.

2) Der Reif ist gefrorener Tau auf Körpern, die durch Ausstrahlung ihrer Wärme unter den Gefrierpunkt erkaltet sind. Durch die in unseren Wohnstuben enthaltene Feuchtigkeit betauen die kalten Fenster, und bei hinlänglich starker Abkühlung derselben verwandelt sich hierauf der entstandene Tau in Eis; eben so betauen auch im Winter, wenn auf kalte Winde warme folgen, oder wenn, namentlich zu Ende des Winters, die Kälte plötzlich nachläßt und Tauwetter erfolgt die Mauern der Gebäude, die dünnen Äste der Bäume, die Brücken u. s. w., durch die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit, und dieser Tau gefriert oder wird zum Reif durch die Kälte jener Gegenstände, welche langsamer erwärmt werden, als die Luft, da sie schlechtere Wärmeleiter sind. Man nennt diese Erscheinung das Beschlagen der Gebäude 2c.

3) Der Nebel und die Wolke sind verdichtete Wasserdünste; sie unterscheiden sich von einander durch die Höhe, in welcher sie sich über der Erde befinden. Der Nebel ist eine niedrig schwebende Wolke; eine Wolke ist ein Nebel in den höheren Regionen der Atmosphäre. Sie entstehen beide durch Erkalten des Wassergases, wodurch dieses zu Wasserdunst, zu hohlen kleinen Wasserbläschen, welche in der Luft schweben, verdichtet wird, wie der Hauch des Menschen bei kalter Luft; bei den Wolken geschieht das in desto höheren Regionen der Atmosphäre, je wärmer es ist. Je mehr sich die Wasserdünste verdichten, desto dunkler sehen die Wolken aus, und haben sie sich so stark verdichtet, daß sie schwerer als die sie tragende Luft sind, so senkt sich die Wolke nieder, bewegt sich aber auch oft wieder in die Höhe, wenn sie durch die unteren merklich wärmeren Luftschichten leichter wird. Die Kälte, welche zur Verwandlung des Wassergases in Wasserdunst notwendig ist, ist entweder die bei der allgemeinen Abkühlung der Atmosphäre nach Sonnenuntergang eintretende Kälte, oder die Kälte der höheren Luftregionen, welche das aufsteigende Wassergas von selbst erreicht, oder die Kälte der Winde, welche sich mit wärmerer und mit Wasserdünsten gesättigter Luft mengen, oder auch endlich die Kälte von Körpern, wofür es an Belegen nicht fehlt. Die gewöhnlichsten Wolken mögen wohl entstehen, indem die unteren, mehr erwärmten und also spezifisch leicheren Luftschichten sich erheben, und das gleichzeitig entstandene Wassergas in die kälteren Gegenden mit sich nehmen; über Inseln lagern sich Wolken; die Nebel über Gewässern nach Sonnenuntergang entstehen, indem die kältere Luft vom festen Lande über die Wasserfläche strömt und das über derselben sich befindende Wassergas verdichtet; an die Spitzen der Berge legen sich Wolken an, weil die sie umgebende Luft wärmer ist u. s. w. Wolken und Nebel verschwinden durch den Wind, durch Erhöhung der Lufttemperatur oder wenn Regen erfolgt.

Howard — Forster. — Die Hauptarten der Wolken sind die Federwolke (cirrus), die Haufenwolke (cumulus) und die Schichtwolke (stratus); abgeleitete Formen sind die fedrige Haufenwolke, die Schäfchen (cirro-cumulus), die fedrige Schichtwolke (cirro-stratus), die geschichtete Haufenwolke (cumulo-stratus) und die gehäufte fedrige Schichtwolke oder die Regenwolke (nimbus). Die Federwolken sind die höchsten Wolken, denn selbst von hohen Bergen betrachtet zeigen sie dieselben Gestalten. Starke, dicke Nebel an den Küsten von Neufundland; in London verstärkt durch Steinkohlenrauch. — Trockene Nebel sind Rauch, bestehend aus verflüchtigten trockenen Körperchen; Haarrauch oder Höhenrauch wird erklärt durch einen Verbrennungsprozeß, z. B. bei vulkanischen Ausbrüchen, durch Abbrennen der Torfmoore in Holland und Westfalen, starken Steinkohlenverbrauch u. s. w.

4) Der Regen ist ein durch Abkühlung der Luft herbeigeführter Niederschlag des die Wolken bildenden Wasserdunstes. Die Wasserbläschen vereinigen sich zu Tropfen, welche wegen ihres größeren spezifischen Gewichtes, in Vergleich mit der Luft, herabfallen. Der Regen fällt wohl immer aus Wolken: entweder die mit Wasserdampf gesättigte Wolke wird durch einen kalten Wind abgekühlt, oder der Wind bringt eine warme, feuchte Luft in eine kalte Luftschicht. Die meisten Regenwolken Europas haben ohne Zweifel ihren Ursprung im Atlantischen Meere, daher die jährliche Regenmenge an jener Küste (Bergen 2014 mm, Bordeaux 628 mm) bedeutender als im mittleren Deutschland (Breslau 471 mm) ist. Die Regentropfen wachsen während des Herabfallens, indem sie sich teils mit den Bläschen, auf welche sie stoßen, vereinigen, teils aber das Wassergas in den unteren wärmeren Luftschichten als kältere Körper niederschlagen; sie werden daher desto größer, je höher die regnende Wolke steht und je größer der Unterschied der Temperaturen der oberen und unteren Luftschichten ist.

Staubregen, Strichregen, Platzregen, Landregen, Wolkenbruch, Gewitterregen. — Der Durchmesser eines starken Regentropfens zwischen den Wendekreisen ist 6 mm, unter dem Äquator aber oft 26 mm, weil sich da wegen der größeren Erwärmung der Atmosphäre die Wolken in weit größeren Höhen bilden; weshalb der Tropfen mit solcher Geschwindigkeit auffällt, daß er auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl hervorbringt. Warum sind die ersten Tropfen eines jeden Regens größer als die nachfolgenden? — Ombrometer — Hyetometer. — Die jährliche Regenmenge eines Ortes hängt ab von seiner geographischen Breite, von seiner Erhebung über die Meeresfläche und von seiner Entfernung vom Meere; sie beträgt am Äquator mehr als in den gemäßigten Zonen — dort etwa 2511, hier 628 mm —, auf den Gebirgen und an den Küsten mehr als in den Ebenen. Sehr gering ist der Regenfall in der Wüste Sahara, an den Küsten von Peru. Periodische Regen in der heißen Zone, wann die Sonne im Zenith steht. Aber selbst an einem und demselben Orte ist die jährliche Regenmenge in verschiedenen Jahren verschieden groß, z. B. in Heidelberg betrug sie 402 mm im Jahre 1822, dagegen 879 mm im Jahre 1824. Für die Erde im ganzen rechnet man 785 mm jährlichen Regenfall und daß die Verdunstung eben so viel beträgt. — Der sogenannte Blutregen ist animalischen, vegetabilischen oder mineralischen Ursprunges, so wie der Schwefelregen vegetabilischen, da das gefallene gelbe oder rötliche Pulver Blütenstaub von Erlen, Fichten, Birken rc. ist. — Steinregen wird oft das Herabfallen der Meteorsteine aus der Athmosphäre auf die Erde genannt. Wir merken uns hier gelegentlich darüber folgendes. — Die Feuerkugeln oder Meteorsteine, leuchtende, außerordentlich schnell sich bewegende Kugeln, die zuweilen einen glänzenden Schweif von Funken nach sich ziehen und oft die scheinbare Größe des Mondes

haben, fallen wirklich zur Erde, wie am 30. Januar 1868 östlich von Pultusk. Wenn sie zuerst sichtbar werden, scheinen sie horizontal fortzugehen, dann neigen sie sich zur Erde, zuerst sehr wenig, in der unteren Luft dagegen schnell. Sie zerspringen oft vor dem Niederfallen mit furchtbarem Getöse und geben einen Steinregen. Ihre Bestandteile sind Kieselerde, Talkerde, Eisen, Nickel, Schwefel, auch Mangan, Chrom und Kohle. Man kann sich wohl denken, daß durch schnelle Bewegung einer Feuerkugel die Luft vor ihr sehr verdichtet und dadurch so viel Wärme erzeugt wird, daß die Masse glühend wird. Wo die Meteorsteine entstehen, weiß man noch nicht. Einige (die Kosmisten) meinen, und wohl höchst wahrscheinlich mit Recht, die Meteorsteine seien außerordentlich kleine Planeten, die auf ihrer Bahn um die Sonne der Erde so nahe kommen, daß diese sie an sich zieht; früher hielten andere (die Lunaristen) sie für Auswürfe der Mondvulkane, welche ebenfalls in die Anziehungssphäre der Erde gekommen sind. Die Sternschnuppen, scheinbar niederfallende Sterne, sind vielleicht kleine Feuerkugeln; sie zeigen sich in der Atmosphäre in sehr verschiedener Höhe von 1 bis 50 Meilen und zuweilen darüber, und bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 8 Meilen, meist herabwärts, aber auch horizontal und sogar aufwärts, was Bessel aber leugnet; die meisten kommen aus der Gegend des Sternbildes des Löwen. Periodischer großer Sternschnuppenfall um den 10. Aug. und den 12. November (1799 Alexander von Humboldt). — Chladni, Brandes, Benzenberg, v. Boguslawski, Bessel.

5) Der Schnee entsteht wahrscheinlich dadurch, daß die aus den Wasserbläschen der Wolken bei einer Temperatur unter dem Gefrierpunkte sich bildenden Wassertröpfchen gefrieren und sich an einander hängen. Der Schnee besteht aus äußerst kleinen nadelförmigen Krystallen, die bei hinreichender Ruhe der Atmosphäre, indem sie sich unter Winkeln von 60° und 120° auf sehr mannichfache Art verbinden, als sehr schöne Eissternchen (§ 23), bei unruhiger Atmosphäre dagegen zerstückelt, oder als sogenannte Schneeflocken zur Erde fallen. Es schneit der Regel nach nur an weniger kalten und dabei feuchten Tagen des Winters; der Schnee, welcher an kalten stürmischen Tagen bei Nordwind fällt, mag wohl in der Luft, die aus wärmeren Ländern kommt und in den höheren Regionen der Atmosphäre über unserer kälteren Luft in entgegengesetzter Richtung strömt, entstanden sein. Es schneit oft oben, während es unten regnet, wenn die unteren Luftschichten so erwärmt sind, daß der in sie gelangende Schnee schmilzt.

Unter der Schneelinie oder Schneeregion versteht man diejenige Höhe, in welcher wegen der mit der Höhe abnehmenden Wärme die Kälte so groß ist, daß der Schnee auf freien Abhängen nicht schmilzt, also ewig liegen bleibt. Sie liegt nicht an allen Orten der Erde gleich hoch; am Äquator am höchsten (über 4400 m) und nimmt von da nach den Polen, in deren Nähe sie in die Erde einschneidet, an Höhe ab. — Gletscher, Schneelawinen.

6) Die Schloßen sind undurchsichtige Eiskügelchen, in deren Mitte sich ein weißer Kern befindet. Dieser Kern vergrößert sich durch eine undurchsichtige Kruste, indem er Wassergas während des Fallens an sich niederschlägt. Durch überaus schnelle Vergrößerung der Schloßen während des Fallens entsteht der Hagel; die Hagelkörner haben sehr selten die Größe von welschen Nüssen, in einzelnen Fällen sollen Stücke bis zu 300 g beobachtet worden sein; doch ist die Menge des Hagels oft so enorm, daß bei der meist sehr kurzen Dauer des eigentlichen

Hagelschlages die Erde 4—5 cm hoch bedeckt sein kann. Es hagelt nach den bisher gemachten Erfahrungen fast nur im Sommer, selten zur Nachtzeit und vorzugsweise in den gemäßigten Zonen und fast ausschließlich nur am Rande der Gewitterwolken. Wie im Sommer die so große zur Bildung des Hagels erforderliche Kälte plötzlich entsteht, weiß man noch nicht zu sagen.

Hagelableiter.

Wenn nun auch die Sommerwärme und Winterkälte durch die Stellung der Erde zur Sonne hervorgebracht werden, so werden doch die größeren Veränderungen derselben durch die Beschaffenheit des Bodens, durch nahe liegende Berge, Seen, Meere, vorzüglich aber durch Winde, so wie die kleineren durch Verdunstung, Nebel, Regen, Hagel ꝛc. bewirkt.

6. Wärmequellen, Entstehung und Umwandlung der Wärme. Wesen der Wärme.

193. 1) Unter den natürlichen Wärmequellen ist die Sonne bei weitem die wichtigste. Dieselbe sendet unserem Erdkörper durch Strahlung alljährlich eine Wärmemenge zu, welche genügen würde, eine die gesamte Erdoberfläche bedeckende Eisschicht von durchschnittlich 33 m Höhe zu schmelzen, und verteilt sich auf die verschiedenen Zonen der Erde in sehr ungleicher Menge, doch bleibt die Durchschnittsquantität stets die gleiche. Bei dem Durchmesser des Erdkörpers, 1720 geogr. Meilen und dessen Entfernung von der Sonne (20 Mill. Meilen) beträgt diese enorme Wärmemenge doch nur den 2300 Millionsten Teil der Gesamtausstrahlung der Sonne von ihrem ganzen Umfange in den Weltraum, eine Wärmemenge, welche auf eine enorm hohe Temperatur der Sonne schließen läßt; dieselbe wird nach den niedersten Schätzungen auf mindestens 70 Tausend, nach anderen auf viele Millionen Grade angegeben.

Die Wirkungen der Sonnenwärme machen sich nur auf der äußersten Erdoberfläche geltend, bis zu einer Tiefe von etwa 10 m; an dieser Grenze ist die Temperatur Winter wie Sommer unveränderlich der mittleren Jahrestemperatur des Ortes gleich; von hier ab steigt die Temperatur mit der Tiefe, durchschnittlich um 1° C. für je 30 m. Dies führte zu der Annahme, daß die Erde im Innern feuerflüssig sein müsse, was durch die Erscheinung der heißen Quellen und Vulkane einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit erhält.

Pyrheliometer von Pouillet. — Geothermometer.

2) Zur Erzeugung von Wärme an bestimmten Orten und in großer Intensität sind diejenigen chemischen Prozesse von besonderer Bedeutung, bei welchen eine lebhafte Vereinigung von einfachen Stoffen zu zusammengesetzteren stattfindet. Unter allen Vorgängen dieser Art ist die Verbrennung des Wasserstoffs und

Kohlenstoffs, sowie der aus beiden gebildeten Stoffe hervorzuheben; hierbei erfolgt eine Vereinigung des Wasserstoffs und Kohlenstoffs mit Sauerstoff, welcher in der Luft reichlich enthalten ist, zu Wasser und Kohlensäure. Die hierbei erzeugte Wärmemenge ist so bedeutend, daß die verbrennenden Stoffe bis zum Weißglühen gebracht werden können. Die Zahl der Wärmeeinheiten, welche bei vollkommener Verbrennung von 1 kg eines Stoffes entstehen, wird Verbrennungswärme, bei den eigentlichen Brennmaterialien wohl auch theoretischer Heizeffekt genannt. Diese Verbrennungswärme beträgt für:

Wasserstoff . . .	34000 W.	Kohlenstoff . . .	8000 W.
Leuchtgas . .	11—12000 „	Steinkohlen . .	6—7000 „
Petroleum . . .	10000 „	Holz (trocken) . .	3600 „

Dieselbe Wärmemenge, welche bei Vereinigung einfacherer Stoffmoleküle zu zusammengesetzteren entsteht, wird bei Trennung derselben wieder verbraucht, weshalb eine derartige chemische Zersetzung meist nur durch reichliche Zuführung von Wärme erfolgt.

3) Die Entstehung von Wärme durch mechanische Kräfte ist seit den ältesten Zeiten bekannt und namentlich in den Feuerzeugen der verschiedensten Art benutzt worden. Erst in neuerer Zeit jedoch ist bewiesen worden, daß diese Wärme aus den mechanischen Kräften entsteht, d. h. ein Umwandlungsprodukt der mechanischen Arbeit ist. Die sogenannten Bewegungswiderstände, wie Reibung, Stoß und Druck gegen Körper vermindern die Bewegung oder halten sie ganz auf, indem sie dieselben in Wärme verwandeln. Die Wärmemenge, welche durch vollkommene Umwandlung einer beliebigen Arbeitsgröße entsteht, ist dieser Größe proportional. Aus der Arbeit von einem Meterkilogramm entsteht $^{1}/_{424}$ oder 0,002358 einer Wärmeeinheit; diese Größe wird das calorische Äquivalent der Arbeitseinheit genannt. Sowie mechanische Arbeit in Wärme, so kann auch Wärme wiederum in mechanische Arbeit übergehen, wobei aus einer Wärmeeinheit die Arbeitsgröße von 424 Meterkilogrammen entsteht; diese wird das mechanische Äquivalent der Wärmeeinheit genannt. Dieselbe ist durch zahlreiche theoretische und praktische Untersuchungen, J. R. Mayer, Joule u. A. auf den verschiedenartigsten Wegen übereinstimmend gefunden worden, läßt daher an Sicherheit des Zahlenwertes keinen Zweifel.

Die Entstehung von Wärme durch Bewegungswiderstände zeigt sich, außer bei Benützung der meisten Feuerzeuge, meistens in schädlicher Weise, namentlich bei Radachsen und Zapfenlagern an Wagen und Maschinen, wenn der Reibungswiderstand durch starke Belastung und schnellen Gang (bei ungenügender Anwendung von Schmiermitteln) zu groß geworden ist. — Eine abgeschossene Bleikugel, die noch mit voller Kraft gegen einen harten Körper trifft, kann bis zum Schmelzen sich erhitzen. — Graf Rumford brachte durch Reibung eines stumpfen Geschützbohrers in einem angebohrten Stücke Geschützmetall größere Mengen Wassers zum Kochen und zeigte hierbei, daß eine stetige mechanische Arbeit auch stetige Wärmeentwickelung zu bewirken vermag (1798). Joule bewirkt dasselbe in seiner Versuchsreihe 1843—50 u. A. durch Bewegung von Flügelrädern im Wasser, also wesentlich durch die Reibung der Wasserteilchen an jenen und gegeneinander, und bestätigte durch sorgfältigste Messungen die Richtigkeit der durch J. R. Mayer

1842 zuerst theoretisch entwickelten Größe des mechanischen Äquivalentes der Wärme. —

Bei der bedeutenden Arbeitsgröße, welche aus einer Wärmeeinheit und der großen Wärmemenge, welche bei der Verbrennung entsteht, ist die Erzeugung großartiger mechanischer Kräfte durch Wärme in den Dampfmaschinen (§ 190) ermöglicht. In den sogenannten Heißluftmaschinen und den Gaskraftmaschinen wird die Ausdehnung der Luft durch Wärme sehr vorteilhaft zur Arbeit verwendet; doch konnten dieselben bis jetzt nur in kleinem Maßstabe (bis zu 4 bis 6 Pferdekräften) mit Erfolg hergestellt werden, da der Herstellung größerer Maschinen dieser Art allzubedeutende praktische Schwierigkeiten sich entgegenstellen.

194. Aus der Art der Entstehung und Umwandlung, sowie allen ihren anderen Wirkungen geht hervor, daß die Wärme nichts anderes sein kann, als eine Art der Bewegung, und zwar einer Bewegung der Moleküle. Zahlreiche Erscheinungen deuten darauf hin, daß wir uns dieselbe als eine geradlinige zum Teil schwingende, zum Teil fortschreitende Molekülarbewegung von großer Geschwindigkeit vorzustellen haben. In den festen Körpern hält die Kohäsionskraft bei bestimmter Temperatur die Moleküle in einer entsprechenden mittleren Entfernung und gegenseitigen Lage fest, so daß die Bewegung derselben nur eine hin- und hergehende sein kann. Erhöhung der Temperatur, d. h. Zuführung neuer bewegender Kraft, muß die Geschwindigkeit der Bewegung und dadurch die mittlere Entfernung der Moleküle vergrößern, also eine Ausdehnung der Körper bewirken.

Mit der Temperatur nimmt die Lebhaftigkeit der Bewegung zu, so daß bei einer bestimmten Temperaturgrenze die Moleküle ihren starren Zusammenhang verlieren, und der Körper in den flüssigen Zustand übergeht. Hierbei wird die Kohäsionskraft in der Regel fast völlig überwunden, so daß das Volumen des Körpers sich vergrößert und die Moleküle freie Beweglichkeit unter einander zeigen. Diese Trennung der Moleküle, gleichsam Überwindung der Gesamtfestigkeit des Körpers erfordert eine gewisse Arbeitsgröße, wozu die während des Schmelzens als Wärme zugeführte Arbeit verbraucht, also nicht zur Erhöhung der Temperatur verwendet wird; Schmelzwärme der Körper. Das ausnahmsweise Verhalten des Wassers und Wismuts, welche im flüssigen Zustande ein kleineres Volumen einnehmen, als im festen, wird dadurch erklärt, daß in Folge der Krystallisation zahlreiche sehr kleine luftleere Räume in denselben vorhanden sind, welche bei dem Schmelzen verschwinden.

Bei der lebhaften Bewegung der Flüssigkeitsmoleküle werden die an der freien Oberfläche befindlichen leicht in dem freien Raum sich bewegen können. Diese Moleküle nehmen eine geradlinig fortschreitende Bewegung an, den Bewegungszustand, in welchem die Moleküle der Dämpfe und Gase sich befinden. Schließlich überwinden die Moleküle den noch vorhandenen, durch Druck auf die Oberfläche und Gewicht der Flüssigkeit selbst bewirkten Widerstand und bilden Dämpfe auch im Innern der Flüssigkeit, die in Blasen aufsteigen. Bei der Verdampfung werden meist noch bedeutendere Wärmemengen, namentlich

in Folge der sehr erheblichen Ausdehnung verbraucht, so daß die Verdampfungswärme eines Körpers bei Weitem noch dessen Schmelzwärme übertrifft. Es kann bei diesen Vorgängen von einer latenten (verborgenen) Wärme nicht wohl die Rede sein, da die Wärme in Arbeit umgewandelt ist.

Der Druck der gasförmigen Körper gegen die Gefäßwände wird durch den immerwährenden Anstoß der Moleküle gegen dieselben hervorgerufen, welcher wie eine kontinuierliche Druckkraft wirkt. Hierdurch wird auch das Mariottesche Gesetz erklärt, indem dieselbe abgeschlossene Zahl von Molekülen bei gleicher Arbeitsgröße (Temperatur) einen um so größeren Druck ausüben muß, je kleiner der Raum, je größer also die Zahl der Moleküle ist, welche zu gleicher Zeit dieselbe Flächengröße der Gefäßwand treffen. Desgleichen muß der Druck proportional der Arbeitsgröße der Moleküle sich vergrößern, so lange der Raum derselbe bleibt (Gay-Lüssacsches Gesetz).

Da jedes Gas von 0° und 1 Atm. Druck bei gleichbleibendem Volumen durch Erwärmung um 1° C. jedesmal $^1/_{273}$ Atm. an Druck gewinnt, bei Abkühlung unter 0° in gleicher Weise an Druck verliert, so müßte bei Abkühlung um 273° C. die Molekularbewegung, mithin die Wärme des Körpers gänzlich aufhören. Dieser Temperaturgrad wird daher der absolute Nullpunkt der Wärme genannt.

Vermag ein Gas bei Erwärmung und constantem Drucke sich auszudehnen, so muß dasselbe einen gleichen Gegendruck überwinden, mithin eine mechanische Arbeit verrichten, welche dem Produkte aus Gegendruck und Weglänge, etwa des beweglichen Kolbens in einem cylindrischen Gefäße, gleich ist. Daher erfordert eine bestimmte Gasmenge bei konstantem Drucke zur Erwärmung um je 1° C. eine größere Wärmemenge, als dieselbe Gasmenge bei konstantem Volumen, und zwar im Verhältnis von 1,42 : 1. Wird ein Gas auch ohne Zuführung von Wärme zusammengedrückt, so tritt Erwärmung ein (Pneumatisches Feuerzeug). Bei Ausdehnung in gleichem Verhältnis Abkühlung (§ 192).

Auch der Zusammenhang der Wärme mit den chemischen Prozessen ist zurückzuführen auf Molekularbewegungen bei Vereinigung oder Trennung der einfacheren oder zusammengesetzteren Stoffmoleküle.

Neunter Abschnitt.

Von dem Magnetismus.

1. Von Magneten im allgemeinen.

195. 1) Magnete sind solche Körper, welche die zwei Haupteigenschaften haben, daß sie 1) Eisen und eisenhaltige Körper anziehen und festhalten, und 2) wenn sie sich frei drehen können, immer eine

bestimmte Richtung oder Lage im Raume annehmen. **Magnetismus** bezeichnet die Ursache aller Erscheinungen an den Magneten, oder die Kraft, welche diese Erscheinungen hervorbringt.

2) Es giebt **natürliche** und **künstliche** Magnete. Der natürliche Magnet (Magnetstein oder Magneteisenstein) ist ein schwärzliches Eisenerz, welches den Magnetismus ursprünglich oder von Natur besitzt; der künstliche dagegen ist Eisen, in welchem durch künstliche Behandlung (§ 199) der Magnetismus erst erregt worden ist.

Die künstlichen Magnete kommen vorzugsweise in drei Formen vor: in Form der Magnetstäbe oder Parallelepipeden, der Hufeisen und der Nadeln. Natürliche Magnete (Eisen-Oxydoxydul: Fe 72,4 + O 27,6) findet man, teils in derben Stücken, teils in Oktaedern krystallisiert, in Norwegen, Schweden, Ungarn, Böhmen, Deutschland u. s. w., auch in Amerika und Asien, wo er bei Magnesia in Lydien, in den ältesten Zeiten, zuerst gefunden worden sein soll, was auch als Grund der Benennung angenommen wird; Homer, Pythagoras, Plato und die ägyptischen Priester kannten ihn schon. Der Magnetstein ist jedoch nicht schon am Orte der Lagerung magnetisch, sondern wird es erst, wenn er an der Oberfläche der Erde, der Luft ausgesetzt, eine Zeit lang gelegen hat. Im Schlosse zu Florenz ist ein Magnetstein von 2500 kg, und im Museum zu Harlem ein solcher von 153,5 kg Gewicht.

3) Die Anziehung eines Magneten findet sowohl im luftleeren, als lufterfüllten Raume mit unveränderter Stärke durch alle Körper statt, d. h. wenn sich auch andere Körper, wie z. B. Holz, Glas, Papier zwischen dem Magnete und Eisen befinden, so wird dieses dennoch angezogen. Nur solche Körper, welche selbst magnetisch werden können, machen eine Ausnahme; daher der Magnet durch ein Eisenblech hindurch eine geringe Anziehung ausübt.

In Nadelfabriken kann der beim Zuspitzen der Nähnadel entstandene Eisenstaub durch in der Nähe angebrachte Magnete vom Gesichte der Arbeiter abgehalten und dadurch unschädlich gemacht werden. — Herausziehen von Eisensplittern aus den Augen. — Trennung der Eisenfeile aus Mischungen derselben mit Messingfeilen. — Taschenspieler bewirken viele Künste durch in Kleidern und Gerätschaften versteckte Magnete. Außer Eisen werden auch Nickel, Kobalt und Mangan von Magneten angezogen; von Eisen selbst aber das weiche stärker als das harte.

4) Der Magnet zieht aber nicht an allen Stellen gleich stark an. **Pole** heißen die beiden Stellen der stärksten Anziehung, und die sie verbindende gerade Linie heißt die **Achse** des Magneten. Die Anziehung nimmt von den Polen nach der Mitte hin ab, wo sich eine gegen Anziehung gleichgültige Stelle, die **Indifferenzstelle** oder der **Nullpunkt**, befindet. Man erkennt die beiden Pole am besten, wenn man den Magneten mit Eisenfeilspänen bestreuet; denn diese werden da am zahlreichsten angezogen, reihen sich zu Fäden an einander, welche aus einander gehend gleichsam Bärte bilden, welche Erscheinung später ihre Erklärung finden wird. (§ 198.)

5) Die bestimmte Richtung im Raume, welche der Magnet bei freier Bewegung annimmt, ist von der Art, daß sich der eine Pol immer nach der nördlichen, der andere aber immer nach der südlichen

Himmelsgegend wendet. Jener heißt deshalb der **Nordpol**, dieser der **Südpol**, und die Eigenschaft eines Magneten, diese Richtung anzunehmen, die **magnetische Polarität**.

Man giebt einem Magneten eine freie Bewegung, indem man ihn auf Quecksilber frei legt, oder auf Wasser mittelst eines Korkstückes oder eines runden Schachteldeckels, oder indem man ihn im Schwerpunkt unterstützt oder aufhängt. Eine auf Wasser gelegte magnetisierte Nähnadel zeigt die magnetische Polarität. Die Anziehung des Magnetsteins kannten die Griechen schon zur Zeit des **Thales von Milet**, 600 v. Chr., und die magnetische Richtungskraft die Chinesen wohl über 1000 Jahre v. Chr.; in Europa aber wurde die Magnetnadel erst im 12. Jahrhundert bekannt.

196. 1) Erhalten und verstärkt wird die Kraft eines Magneten, wenn er beständig **beschäftigt** ist, d. h. wenn er ein so großes Gewicht, als er zu tragen im Stande ist, wirklich zu tragen erhält, und wenn dieses Gewicht täglich um etwas vermehrt wird. Auch die sogenannte **Armatur** oder **Bewaffnung** verstärkt die Kraft eines natürlichen Magneten. Armiert wird er, indem die Stellen der Pole abgeschliffen und mit Platten von weichem Eisen belegt werden. Diese Platten, an den Magneten angeschraubt, enden an einer Seite desselben in dickeren Füßen, die **künstlichen Pole** genannt, an welche ein Eisenstück, der **Anker**, versehen mit einem **Haken** zum Aufhängen von Gewichten, gelegt wird. Beide Pole wirken hier, wie beim Hufeisenmagneten, mit vereinter Kraft nach einer und derselben Seite (§ 198).

Ein Magnet trägt armiert ein 10—40 Mal, die kleineren sogar oft ein 200—300 Mal so großes Gewicht, als ein unarmierter. Der armierte 153,5 kg schwere Magnetstein in Harlem trägt 115 kg. — Der Magnet der Ecole polytechnique in Paris wiegt 67 Kilogramm und hat eine Tragkraft von 275 Kilogramm.

2) Geschwächt wird ein Magnet, wenn man ihn unbeschäftigt läßt, oder ihn zu sehr beschwert, ihn heftigen Erschütterungen aussetzt, die Gewichte plötzlich und oft abreißt; vorzüglich aber, wenn große Wärme und Feuchtigkeit, durch welche letztere er rostet, auf ihn wirken. Weißglühhitze benimmt den Magneten sogleich alle Kraft. Auch ist die Richtung, in welcher ein Magnet liegt oder hängt, nicht gleichgültig; es ist am besten, seinen Nordpol nach Norden, also seinen Südpol nach Süden zu richten, wenn er nicht von selbst diese Lage anzunehmen imstande ist.

Magnetisch gewordenen Teilen einer Maschine (§ 198, 2) kann man den Magnetismus durch Glühen benehmen, einem Stahlmagneten schon durch Eintauchen in kochendes Mandelöl. Im Sommer ist ein Magnet schwächer, als im Winter; künstliche Magnete werden lackiert, um die Feuchtigkeit von ihnen abzuhalten.

2. Von der magnetischen Anziehung, Abstoßung, Verteilung oder Influenz und Mitteilung.

197. 1) Durch zwei Magnete, von denen einer eine freie Bewegung hat, während man den andern in der Hand hält, kann man

das Verhalten zweier Magnete überhaupt zu einander veranschaulichen. Man findet, daß sich sowohl die Nordpole als auch die Südpole abstoßen; daß aber der Nordpol des einen und der Südpol des andern einander anziehen. Diese entgegengesetzten Erscheinungen veranlaßten die Annahme zweier entgegengesetzter Magnetismen, nämlich des Nordmagnetismus, als Magnetismus des Nordpoles, und des Südmagnetismus, als Magnetismus des Südpoles eines Magneten. Jenen bezeichnet man mit + M, diesen mit — M, und spricht das jenen Erscheinungen zu Grunde liegende Gesetz so aus: Ungleichnamige Magnetismen ziehen sich an; gleichnamige stoßen sich ab.

Wie bestimmt man die Pole eines Magneten mittelst eines zweiten Magneten, dessen Pole bekannt sind? Magnetische Spielwerke, z. B. magnetische Fische, Enten, schnäbelnde Tauben u. s. w. — Wenn man den in der nördlichen Hemisphäre wirkenden (§ 201) den Nordmagnetismus nennt, so muß das nach N weisende Ende der Magnetnadel den Südmagnetismus haben.

2) Die Stärke der magnetischen Anziehung und Abstoßung nimmt mit der Entfernung ab, und zwar nach Koulombs (1785) scharfsinnigen Versuchen, so wie die Quadrate der Entfernungen zunehmen, welches Gesetz in neuerer Zeit Hansteen und besonders Gauß entschieden nachgewiesen haben (§§ 25, 144, 152, 187).

198. 1) Nächst den Gesetzen der Anziehung und Abstoßung ist vorzüglich wichtig das Gesetz der Verteilung oder der Influenz, welches so lautet: Jeder Pol bringt in dem zugewendeten Ende eines genäherten eisernen Körpers den entgegengesetzten, in dem entfernteren Ende dagegen denselben Magnetismus hervor.

Nähert man dem Pole eines Magneten einen eisernen Stab, so wird dieser selbst zum Magneten (denn er zieht Eisenfeilspäne an) in der Art, daß das genäherte Ende den entgegengesetzten, das andere aber denselben Magnetismus erhält, was sich durch einen Magneten, dessen Pole bekannt sind, nach § 197 zeigen läßt. Die Magnetismen treten desto stärker hervor, je näher der Stab dem Magneten gebracht wird, am stärksten bei wirklicher Berührung.

Hängt erst eine Nähnadel an einem Magneten, so kann man eine ganze Reihe von Nähnadeln an einander hängen. Wird ein Magnetstab in Eisenfeilspäne gelegt, so bemerkt man an diesen ein Bestreben, sich so zu ordnen, daß sie krumme Linien, welche die beiden Pole verbinden, bilden; indem jedes der Eisenfeilspänchen ein Magnet wird. Bei einem Hufeisenmagneten entsteht eine Brücke von Eisenfeilspänen zwischen den Polen. Wird unter ein mit Eisenfeilspänchen bestreutes Papier ein Magnet gehalten, so stellen sich diese gleichsam zu Faden vereinigt, senkrecht auf; denn jedes wird ein Magnet und kehrt dem auf sie wirkenden Magneten den entgegengesetzten Pol zu. — Magnetische Figuren. — Auch ist die magnetische Verteilung der Grund von der vermehrten Kraft eines armierten Magneten (§ 196) und von der Art, wie Magnetstäbe aufbewahrt werden, entweder nämlich mit dazwischen gelegten Ankerstäben, oder ohne diese, so daß sie parallel, aber mit entgegengesetzten Polen an einander zu liegen kommen, welches letztere bei zwei Hufeisenmagneten angewendet wird, und ebenso bei den Magnetmagazinen, wo Stäbe oder Hufeisen zusammengepackt sind, damit sich ihre Kraft

nicht vermindert. Daß das Gesetz „Gesetz der Verteilung“ heißt, beruht auf der Vorstellung, daß in jedem Eisen beide Magnetismen enthalten sind, aber an jeder Stelle mit einander gebunden, weshalb sie nach außen nicht wirken können, und daß die Einwirkung des Magneten auf das Eisen nur darin bestehe, daß er diese gebundenen Magnetismen frei macht oder sie verteilt, wodurch sie in den entgegengesetzten Stabteilen nach außen thätig werden. — Zerbricht man einen Magnetstab, etwa eine magnetische Stricknadel, so ist jedes Stück ein Magnet, dessen Pole mit den Polen des ganzen Magneten in derselben Richtung liegen, was darauf hindeutet, daß ein Magnet aus Teilchen besteht, deren jedes die beiden Magnetismen im getrennten und deshalb freien Zustande enthält, und zwar so, daß in allen der Nordmagnetismus nach derselben einen Seite, der Südmagnetismus nach der entgegengesetzten andern Seite gerichtet ist. — In den Gesetzen der Verteilung und der Anziehung ist also der Grund enthalten, warum ein Magnet Eisen anzieht und festhält. Ein Körper, welcher vom Magneten gar nicht angezogen wird, kann auch nicht magnetisch werden; ein Körper, welcher von beiden Polen eines Magneten, wo auch immer die Annäherung oder Berührung stattfindet, angezogen wird, kann magnetisch werden; ein Körper endlich, welcher an derselben Stelle von einem Pole des Magneten angezogen, von dem andern aber abgestoßen wird, ist bereits ein Magnet.

2) Zwei Magnete mit entgegengesetzten Polen an einander gelegt, beschäftigen sich wechselseitig; werden aber zwei Magnete von gleicher Stärke mit gleichnamigen Polen an einander gebracht, so schwächen sie sich wechselseitig und hören nach längerer Zeit ganz auf, Magnete zu sein; waren sie aber von ungleicher Stärke, so verliert zunächst nach und nach der schwächere seinen Magnetismus ganz, erhält aber dann infolge einer neuen durch den stärkeren bewirkten Verteilung entgegengesetzte Polarität, so daß Nordpol wird, was früher Südpol war, und umgekehrt.

In den zusammengesetzten Magneten oder magnetischen Batterien, welche Stab- und Hufeisenbatterien sind, liegen die einzelnen Magnete von gleicher Stärke zwar mit gleichnamigen Polen an einander, aber in so unmittelbarer Berührung, daß sie nur als ein starker Magnet zu betrachten sind.

Die Depolarisierung magnetisch gewordener Maschinenteile kann auch, ohne daß sie glühend gemacht werden, so bewirkt werden (§ 196), daß man einen Pol bestimmt, ihn Eisenfeilspäne anziehen, dann auf denselben den gleichnamigen Pol eines stärkeren Magneten so lange wirken läßt, bis die Eisenfeilspäne abfallen. — Zwei Magnetstäbe mit ungleichen Polen an einander gelegt, heben weniger als jeder allein, oft gar nichts.

3) Nach von Faraday 1845 gemachten Entdeckungen wirkt ein Magnet auf alle Körper, indem die Pole eines recht kräftigen Magneten, besonders eines Elektromagneten dieselben entweder anziehen oder abstoßen. Die von den Polen angezogenen nennt er magnetische, die abgestoßenen diamagnetische Körper, und unterscheidet hiernach Magnetismus, auch Ferromagnetismus, und Diamagnetismus. Der zu untersuchende feste Körper in der Form eines Stäbchens und an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehangen — der flüssige Körper in einem an einem solchen Faden hängenden Röhrchen von dünnem Glase eingeschlossen, stellen sich, horizontal zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisen-Magneten gebracht, entweder axial oder äqua-

torial, d. h. entweder in der die Pole verbindenden geraden Linie oder senkrecht auf sie; im ersten Falle ist der Körper magnetisch (auch paramagnetisch, wohl so genannt, weil er sich neben und bei den Polen stellt), im zweiten, wo seine Richtung die axiale Richtung durchschneidet, diamagnetisch. Auch Gase und Dämpfe, in Kugeln von dünnem Glase gebracht, werden von Magnetpolen angezogen oder abgestoßen, sind also ebenfalls magnetisch oder diamagnetisch. Bei diesen Versuchen werden auf die Enden des mit seiner Öffnung nach oben senkrecht gestellten Elektromagneten Halbanker gelegt, an deren einem Ende sich kegelförmige Ansätze befinden, welche nach innen gekehrt die Magnetpole vorstellen, die durch Verschiebung der Anker nach Erfordernis des Experiments in die nötige Entfernung von einander gebracht werden können.

Magnetisch sind von den Metallen, an Stärke abnehmend: Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Chrom, Cerium, Titan, Palladium, Platina, Osmium. Diamagnetisch dagegen, an Stärke abnehmend: Wismut, Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Natrium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram. — Von andern festen Körpern sind magnetisch z. B. Papier, Siegellack, Marmor, Flußspat, Turmalin, Zinnober, Kohle; diamagnetisch z. B. Bergkrystall, Phosphor, Schwefel, Harz, Zucker, Stärke, Holz, Elfenbein, Brot, Äpfel, frisches Rindfleisch. — Von den flüssigen Körpern sind magnetisch z. B. konzentrierte Auflösung vom Eisenchlorid, schwächer Eisenchlorüre und Eisenvitriol, diamagnetisch aber Wasser, Alkohol, Schwefeläther, Schwefelsäure, Öle, Milch, Blut. — Von den luftförmigen Körpern ist magnetisch nur Sauerstoffgas, diamagnetisch dagegen alle übrigen Gasarten. Die Flammen sind diamagnetisch, und zwar im höheren Grade diamagnetisch, als die umgebende Luft; da sie nichts anderes sind, als durch den Verbrennungsprozeß erzeugte Gasarten, teils mit beigemischten festen Stoffen (Kohle, Phosphor), welche glühen, teils ohne solche; die Flamme einer Kerze wird daher von kräftigen Magnetpolen sichtbar abgestoßen, niedergedrückt, zusammengedrückt, je nachdem sie ihnen nur genähert oder zwischen sie gehalten wird. Plücker hat mannichfaltige, die Erkenntnis des Diamagnetismus fördernde Versuche gemacht; sehr interessant ist die Untersuchung der Flüssigkeiten in Uhrgläsern oder auf Glimmerblättchen, die auf die einander sehr genäherten Halbanker, nach vorangegangener Entfernung der kegelförmigen Ansätze, gelegt werden.

199. Das weiche Eisen nimmt den Magnetismus leichter an, verliert ihn aber auch wieder schneller; dagegen im gehärteten Eisen, Stahl, läßt sich die Verteilung (§ 198, 1) schwieriger hervorrufen, verschwindet aber weit langsamer; es läßt sich daher in ihm auch ein fortdauernder Magnetismus erregen, wodurch künstliche Magnete entstehen, besonders durch Streichen mittelst eines natürlichen oder künstlichen Magneten. Man unterscheidet hier vorzüglich den einfachen Strich, den Doppelstrich und den Kreisstrich.

1) Man magnetisiert einen Stahlstab durch den einfachen Strich, wenn man den einen Pol eines Magnetstabes in der Mitte desselben unter einem spitzen Winkel von 25 bis 30° aufsetzt, von da nach dem einen Ende hinstreicht, hier absetzt, auf einem Umwege nach der Mitte zurückkehrt, hier wieder denselben Pol aufsetzt und dieses Streichen der einen Hälfte 20—30 Mal wiederholt; hierauf streicht man mit dem

andern Pole eben so oft die andere Hälfte. Der Nordpol des neuen Magneten ist in der Hälfte, welche mit dem Südpole, der Südpol in der Hälfte, welche mit dem Nordpole gestrichen worden ist. Auch kann man den Magneten, statt in der Mitte, an einem Ende des Stabes ansetzen, bis an das andere fortziehen und hier absetzend dieses Verfahren öfter wiederholen. — Man magnetisiert einen Stahlstab durch den Doppelstrich, wenn man beide Pole eines Hufeisenmagneten zugleich in der Mitte aufsetzt, diesen von da nach einem Ende hinführt, nicht absetzt, sondern ihn bis an das andere Ende zurückführt, von da wieder nach dem ersten Ende u. s. w., zuletzt aber in der Mitte den Magneten vom Stabe wegnimmt. Das Ende, nach welchem dabei der Nordpol gerichtet war, enthält den Südpol und umgekehrt. — Der Kreisstrich wird ausgeführt, indem man vier Stahlstäbe in ein rechtwinkliges Viereck zusammenstellt, auf den einen, wie beim Doppelstrich, entgegengesetzte Pole aufsetzt und sie in derselben Richtung einige Male herumführt.

Nach Hoffer wird ein hufeisenförmiger Stahlstab schnell und stark magnetisch, wenn man seine Enden durch einen Anker aus weichem Eisen schließt, möglichst nahe an demselben einen Hufeisenmagnet aufsetzt, diesen gleichförmig bis über die Wölbung einige Male hinzieht. Weniger zweckmäßig ist es, von der Wölbung nach den Enden zu streichen. Der so entstandene Magnet hat nicht nur an den Enden, sondern auch an der Wölbung entgegengesetzte Pole; bei dem Striche von den Enden nach der Wölbung werden die Pole der Enden mit den berührenden gleichnamig, die der Wölbung ungleichnamig, während in dem andern Falle die Pole entgegengesetzt hervortreten.

Man legt auch an beide Enden des zu magnetisierenden Eisenstabes Magnetbündel. Den einfachen Strich kann man auch durch einen Hufeisenmagneten, so wie den Doppelstrich durch zwei parallel gehaltene Magnetstäbe vollführen. — Das Verfahren, im Eisen durch Streichen mit einem Magneten Magnetismus hervorzubringen, heißt Mitteilung des Magnetismus, wiewohl kein Mitteilen, da der gebrauchte Magnet an Kraft nicht verliert, sondern nur ein Verteilen des Magnetismus stattfindet. Immer erhält der Magnet beide Pole; denn es ist nicht möglich ihn so darzustellen, daß er nur Süd- oder nur Nordmagnetismus zeige. Die Kraft, welche der Verteilung oder Trennung der beiden Magnetismen widerstrebt, heißt Koercitivkraft. — Sättigungsgrad eines Magneten. — Einen Magneten mit drei Polen erhält man, wenn man eine Stahlnadel in ihrer Mitte mit einem Magnetpole berührt; die berührte Stelle erhält den entgegengesetzten Pol, die Enden der Stahlnadel aber gleichnamige Pole. Einen Magneten mit vier Polen erhält man, wenn man einen Stahlstab mit seiner Mitte über beide Pole eines Hufeisenmagneten legt; die berührten Stellen erhalten die entgegengesetzten Pole der Enden des Magneten und die Enden des Stabes die diesen zwei entstandenen Polen entsprechenden entgegengesetzten Pole. — Magnetische Folgepunkte oder Konsequenzpunkte.

2) Im Eisen läßt sich auch durch Reibung mittelst anderer Körper Magnetismus erregen, welches dadurch sehr befördert wird, daß der zu magnetisierende Stab in der Richtung eines freischwebenden Magneten liegt, was auch bei den in (1) erklärten Streichmethoden vorteilhaft ist.

Eiserne, vielgebrauchte Werkzeuge, wie Feilen, Bohrer, Sägen, Zangen, Schrauben u. s. w., sind oft magnetisch. Wahrscheinlich wirkt hier der Erdmagnetismus und die durch die Reibung erzeugte Wärme magnetisierend, wovon ein späterer Abschnitt handelt.

3) Eisenstäbe nehmen auch schon durch eine bestimmte Lage Magnetismus an, z. B. wenn sie senkrecht stehen; die vorteilhafteste Lage aber ist die Richtung eines freischwebenden Magneten (§ 200, 3) parallele, wobei in der Nordhälfte der Erde das untere Ende den Nordpol, das obere den Südpol; in der Südhälfte der Erde aber das untere Ende den Südpol und das obere den Nordpol erhält. Die Annahme des Magnetismus durch die bloße Lage befördert man, wenn man dem Stabe am oberen Ende einige Schläge versetzt oder ihn in fast senkrechter Lage auf eine harte Unterlage oder auch nur auf den Boden fallen läßt.

Die senkrechten Stangen in eisernen Kreuzen der Kirchthürme, die Stäbe in eisernen Gittern u. s. w. sind oft magnetisch. Sehr interessant ist der Versuch mit einem etwas längeren Stabe aus weichem Eisen, in welchem man durch die bloße Umkehrung der Lage einen Wechsel der magnetischen Polarität hervorruft; etwas schief zur Erde gehalten, zeigt er sich durch seine Wirkung auf die Magnetnadel unten nordpolarisch, oben südpolarisch; wird er umgekehrt und läßt man ihn einigemale schwach auf den Boden aufschlagen, so zeigt er wieder unten Nord-, oben Südmagnetismus, so daß dasjenige Ende, welches vorhin als oberes Ende südpolarisch war, jetzt als unteres Ende nordpolarisch ist u. s. w. Diese Erscheinung hat ihren Grund in dem Erdmagnetismus, d. h. darin, daß die Erde selbst als Magnet auf das Eisen wirkt (§ 201).

4) In neuerer Zeit hat man Mittel gefunden, nicht blos Eisen, sondern alle Metalle ohne Unterschied magnetisch, wenn auch nur vorübergehend, zu machen. Seebeck hat entdeckt, daß man in den Metallen durch bloße ungleiche Erwärmung, und Oersted, daß man in den Metallen durch Elektricität Magnetismus erregen könne. Die hieher gehörenden Erscheinungen werden in den Abschnitten von der Thermoelektricität und vom Elektromagnetismus abgehandelt.

Morechini (1812) fand, daß Stahlnadeln in den violetten, — schwächer in den blauen und grünen — Strahlen des Sonnenspektrums magnetisch werden. Lady Sommerville 1825. (Photomagnetismus.)

3. Vom Magnetismus der Erde.

200. 1) Die Magnetnadel ist ein künstlicher Magnet von Stahl, welcher auf einem senkrecht stehenden, zugespitzten Stifte so gestellt oder auch an einem Seidenfaden so aufgehangen ist, daß er sich leicht horizontal bewegen kann. Sie ist gewöhnlich 157 bis 178 mm lang und hat die Gestalt eines Pfeiles oder zweier langgestreckter gleichschenkliger Dreiecke, welche mit der kürzeren dritten Seite an einander liegen, und so eine langgestreckte Raute bilden. In der Mitte befindet sich ein Hütchen aus Messing oder Achat, in welches der Stift kommt; bei

jener ist die Spitze, bei dieser das gewöhnlich blau angelaufene Ende der Nordpol. Durch die bestimmte Lage, welche die Magnetnadel im Raume annimmt, ist sie ein unentbehrliches Instrument für den Schiffer, Bergmann, Meßkünstler und Physiker geworden. Sie dient vorzugsweise zum Orientieren, d. h. zur Bestimmung der Weltgegenden.

Kompaß — Boussole. — Augusts portative magnetische Sonnenuhr. Daß die Anziehung zwischen einem Magneten und Eisen wechselseitig ist, beweist auch die Magnetnadel, da sie durch genähertes Eisen angezogen wird; freilich kann hier die Anziehung nur dadurch wechselseitig sein, daß das Eisen bei der Annäherung an die Magnetnadel nach dem Gesetze der Verteilung magnetisch, und dann das Gesetz der Anziehung wirksam wird. Die Mineralogen benutzen die Magnetnadel, um zu finden, ob ein Mineral magnetische Anziehung besitzt oder nicht. In Bergwerken, die Eisenerze enthalten, kann der Bergmann den Kompaß zum Orientieren nicht gebrauchen, da die Nadel durch jene aus ihrer natürlichen Lage abgelenkt wird.

2) Wird eine Magnetnadel in eine andere, ihr nicht eigentümliche Lage, z. B. in die von Osten nach Westen gebracht und dann sich überlassen, so kehrt sie in die ihr zukommende Gleichgewichtslage von selbst zurück, die sie aber nur nach und nach annimmt, indem sie Schwingungen (Oscillationen) macht, welche aber wegen der Reibung und des Widerstandes der Luft immer kleiner werden und zuletzt aufhören. Die Richtung der ruhenden Magnetnadel heißt die magnetische Nordlinie, zum Unterschiede von der astronomischen oder wahren Nordlinie, welche die den Nordpunkt und Südpunkt des Horizontes verbindende gerade Linie ist. Eine durch die Richtung der ruhenden Magnetnadel oder durch die magnetische Nordlinie senkrecht auf den Horizont gelegte Ebene heißt der magnetische Meridian, so wie die auf gleiche Art durch die astronomische Nordlinie gelegte Ebene der astronomische oder wahre Meridian. Nach geometrischen Gründen kann die Durchschnittslinie einer jeden Horizontalebene mit dem magnetischen Meridiane als die magnetische Nordlinie, so wie die Durchschnittslinie einer jeden Horizontalebene mit dem astronomischen Meridiane als die astronomische Nordlinie betrachtet werden.

Nur an wenigen Stellen der Erde zeigt der Nordpol der Magnetnadel genau nach dem wahren Norden, an den meisten nach Punkten, die östlich oder westlich davon liegen; nur an wenigen Orten fallen daher der magnetische und astronomische Meridian zusammen, an den meisten weichen sie mehr oder weniger von einander ab. Diese Abweichung oder Deklination wird gemessen durch den Bogen des Horizontes zwischen den beiden Meridianen, oder durch den Winkel, welchen die beiden Nordlinien auf derselben Horizontalebene bilden. Sie heißen Deklinationsbogen und Deklinationswinkel, und die Deklinationen selbst, indem man sie immer auf das Nordende der Magnetnadel bezieht, östlich oder westlich, je nachdem der magnetische Nordpol nach Osten oder Westen vom astronomischen Norden zeigt. Eine Magnetnadel, die man vorzugsweise zur Messung der Deklination

braucht, ist länger als die gewöhnlichen, 157 bis 314 mm, und heißt eine Deklinationsnadel, so wie das ganze Instrument ein Deklinatorium.

Wie kann man mittelst einer astronomischen Mittagslinie und einer Deklinationsnadel die Deklination bestimmen? Wie lange die Abweichung der Magnetnadel bekannt ist, ist unbestimmt; Spuren davon fallen bis ins 13. Jahrhundert. — So wie aus den Oscillationen des Pendels die Intensität der Schwerkraft (§ 99) g, läßt sich aus denen der Magnetnadel die Intensität des Magnetismus bestimmen (§ 201, 2).

Es giebt auf der Erde eine sehr unregelmäßig laufende Linie von der Eigenschaft, daß in allen ihren Punkten die Magnetnadel genau nach Norden zeigt, der magnetische Meridian mit dem astronomischen also zusammenfällt, oder die Deklination Null ist. Sie heißt die Linie ohne Abweichung (agonische Linien); der eine Teil dieser Linie (die asiatische) ging nach Erman 1829 in mancherlei Krümmungen vom weißen Meere in der Nähe von Nischnei-Nowgorod und Astrachan vorüber, dann durch den großen Ocean und Neuholland gegen den Südpol der Erde hin, jetzt durch das Uralgebirge, das kaspische Meer, den persischen Meerbusen nach Neuholland; der andere Teil (die amerikanische), vom Südpole aus dem atlantischen Ocean kommend, tritt nördlich von Rio-Janeiro in Amerika ein, durchschneidet es, nördlich fortgehend, und verliert sich nördlich von der Hudsonsbai. Zwischen den Linien ohne Abweichung befinden sich die Linien der gleichen Abweichung oder die isogonischen Linien, so wie die der zunehmenden und größten östlichen und westlichen Abweichung.

Europa, Afrika und von Amerika und Asien diejenigen Teile mit den dazwischen liegenden Meeren, welche sich zwischen diesen beiden Linien befinden, haben westliche, alle übrigen Teile der Erde, also z. B. die Westküste Amerikas und fast ganz Asien dagegen östliche Abweichung, wobei jedoch die merkwürdige Ausnahme stattfindet, daß sich in dem östlichen Asien und den angrenzenden Meeren noch eine dritte Linie ohne Abweichung vorfindet, die jedoch in sich zurückläuft oder geschlossen ist, so daß die Orte innerhalb derselben westliche, die Orte außerhalb derselben dagegen östliche Deklination wie das übrige fast ganze östliche Asien haben. Es giebt Deklinationskarten von Hallei seit 1683; die vollständigsten von Hansteen seit 1819, Barlow, Erman; sie enthalten die Erdpunkte gleicher magnetischer Abweichung durch Linien verbunden; d. i. die isogonischen Linien oder die Isogonen.

Die Deklination eines und desselben Ortes bleibt nicht immer dieselbe, sondern ändert sich langsam. Sie nimmt zu, erreicht ihr Maximum, nimmt ab, wird Null, geht in die entgegengesetzte über, erreicht auch hier ihr Maximum ꝛc., eine Oscillation, zu deren Zurücklegung die Magnetnadel Jahrhunderte braucht. (Säkular-Variation der Magnetnadel.)

Die Abweichung der Magnetnadel war in Deutschland vor 1666 östlich, jetzt ist sie ungefähr 15° westlich (Breslau 10° 22′, Paris 17° 6′), und zwar seit 1819 im Abnehmen (Berlin jetzt jährlich 3,8′) begriffen. Das Pfeilbild in den Kompassen giebt den natürlichen Meridian an; die Kompasse müssen mit der Zeit unrichtig werden. Wie bestimmt man durch einen Kompaß die Weltgegenden? — Gauß' Magnetometer.

Außer dieser Säkular-Variation in der Deklination eines Ortes giebt es auch noch stündliche, tägliche und jährliche Variationen. Die tägliche Änderung ist von der Art, daß die Deklinationsnadel in Europa sich Vormittags bis 2 Uhr westlich bewegt, Nachmittags aber langsam wieder östlich zurückkehrt, so daß ihre westliche Ablenkung Nachmittags 2 Uhr am größten, Abends 8—10 Uhr am kleinsten ist; während der Nacht bleibt die Nadel fast stationär: im Sommer macht sie bedeutend größere Oscillationen (im August 30'), als im Winter (im Dezember 5'). Hinsichtlich der jährlichen Änderung ist zu bemerken, daß in Europa die westliche Abweichung im Sommer kleiner als im Winter ist. Die geringste Abweichung findet um das Sommersolstitium statt, von hier an bis in den Januar und Februar wächst sie, und von da an bis in den Juni nimmt sie wieder ab. Endlich beobachtet man plötzliche Änderung in der magnetischen Deklination, eine Unruhe der Magnetnadel während Gewitterstürmen, während des Nordlichtes, der Erdbeben und der Ausbrüche von Vulkanen, ja sogar schon vor solchen Eruptionen; man nennt sie Störungen oder Perturbationen der Magnetnadel.

Einfluß der Wärme, Kälte und Feuchtigkeit auf die Magnetnadel.

3) Wird eine im Schwerpunkte unterstützte unmagnetische Stahlnadel abgenommen, dann magnetisiert und wieder auf den Stift gelegt, so liegt sie an den meisten Orten nicht mehr horizontal, sondern neigt bei uns in der Nordhälfte der Erde den Nordpol, in der Südhälfte dagegen den Südpol herunter. Diese Abweichung der Magnetnadel von der horizontalen Lage heißt die magnetische Neigung oder Inklination; sie wird durch den Winkel gemessen, welchen die Richtung der geneigten Nadel mit dem Horizonte bildet. Er heißt der Inklinationswinkel, und die hierbei gebrauchte Nadel, von der Größe der Deklinationsnadel, nur nicht wie diese, auf einem senkrechten Stifte aufgestellt, in horizontaler Ebene, sondern um eine horizontale Achse in senkrechter Ebene schwingend, heißt Inklinationsnadel, so wie das ganze Instrument ein Inklinatorium.

Die Deklinationsnadel muß genau horizontal schwingen. Das erreicht man dadurch, daß die in die Höhe steigende Hälfte angemessen schwerer gemacht, oder mit einem Laufgewichte versehen, oder, wie es die Schiffer thun, mit Wachskügelchen beschwert wird.

Es giebt um die Erde eine Linie ohne Neigung (aklinische Linie), d. i. eine solche Linie, auf welcher die Inklinationsnadel überall horizonal liegt, die Inklination also Null ist. Diese Linie, der magnetische Äquator genannt, ist mannigfach gekrümmt; sie schneidet den Erdäquator in zwei veränderlichen Punkten, die, von Osten nach Westen fortrückend, sich jetzt fast an der westlichen afrikanischen Küste bei St. Thomas (28° östlicher Länge) und im Südmeere östlich von Neu-Guinea (170° östlicher Länge von Ferro) befinden, und sie entfernt sich in der nördlichen Hälfte bei etwa 60° Länge, zwischen Afrika und der indischen Halbinsel bis auf 15°, in der südlichen Hälfte dagegen in

der Nähe der Küste von Brasilien bei 340° Länge bis auf 12° vom Erdäquator. Mit der Entfernung von diesem magnetischen Äquator nimmt die Inklination zu, d. h. je weiter man sich nach Norden oder Süden begiebt, desto mehr nähert sich die schiefe Lage der Nadel der senkrechten und zwar in der Nordhälfte mit dem Nordpole, in der Südhälfte mit dem Südpole nach unten. Wenn nun die Orte mit gleicher magnetischer Neigung verbunden gedacht werden, so erhält man die Linien gleicher Neigung oder die isoklinischen Linien, so wie die der zu- und abnehmenden Neigung. So mannichfaltig sich auch diese Linien krümmen, so schneiden sie sich doch nie, verhalten sich aber zum magnetischen Äquator nicht etwa so, wie die Parallelkreise zum Erdäquator, denn z. B. die isoklinische Linie von 80° Neigung geht durch Spitzbergen, also 80° nördlicher Breite, aber auch durch den südlichen Teil der Hudsonsbai im nördlichen Amerika, etwa 54° nördlicher Breite. Je weiter man nach Norden und Süden kommt, desto mehr ziehen sich die isoklinischen Linien in Ovale um einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt zusammen. Die Punkte der Erde, über welchen die Inklinationsnadel völlig senkrecht steht, also die Inklination 90° betragen würde, heißen die magnetischen Pole der Erde. Man nahm früher an, daß sie deren viere, zwei Nordpole und zwei Südpole habe; doch hat Gauß in neuerer Zeit dargethan, daß sie nur einen Nordpol und einen Südpol haben könne, wofür auch die bisherige Erfahrung spricht. Der magnetische Nordpol, welcher in Nordamerika liegt, läßt sich als genau bestimmt betrachten, da ihm der Kapitän John Roß auf seiner zweiten Polarreise im März 1833 auf Boothia Felix so nahe kam, daß seine Inklinationsnadel unter 70° 5′ nördlicher Breite und 263° 14′ östlicher Länge von Greenwich (280° 53′ 57″ von F.), konstant auf 89° 59′ stand, so daß zum völlig senkrechten Stande nur noch eine Minute fehlte. Auch dem magnetischen Südpole ist man in neuester Zeit sehr nahe gekommen, denn James Clark Roß hat mit dem Kommandanten Crocier den 15. Februar 1841 bei 72° 35′ südlicher Breite und etwa 152° 30′ östlicher Länge von Greenwich (170° 9′ 57″ von F.) zwischen den Vulkanen Erebus und Terror, eine Inklination 88° 40′ beobachtet, woraus sie auf eine Entfernung von nur noch 291360 m vom magnetischen Südpole schlossen. Die beiden magnetischen Pole liegen also nicht wie die Erdpole einander diametral gegenüber; sie liegen nicht 180°, sondern nur etwa 160° von einander entfernt. Auch die Inklination eines und desselben Ortes ändert sich, doch weniger bedeutend und langsamer, als die Deklination.

Sie betrug in Paris: 1671: 75° 0′, 1814: 68° 36′, 1853: 66° 28′,
1780: 71° 48′, 1825: 68° 0′, 1865: 65° 58′.
Bei uns ist die Inklination etwa 60°; in Berlin, wo sie auch diese Größe hat, nimmt sie jährlich um 3,5″ ab. Aus der Größe der Inklination läßt sich auf die geographische Breite schließen. Inklinationskarten haben Wilke, Hansteen und Erman geliefert; sie enthalten die Erdpunkte gleicher magnetischer Neigung durch Linien verbunden, d. i. die isoklinischen Linien oder die Isoklinen. —

Als Kapitän Roß den magnetischen Nordpol umfuhr, richtete die Magnetnadel an jeder Stelle ihr Nordende dem Pole zu, so daß sie also bei der ganzen Umfahrt auch einen ganzen Umlauf machte, indem sie gleichsam nördlich vom Nordpol nach Süden, östlich nach Westen, südlich nach Norden und westlich nach Osten hinwies; die Magnetnadel erhielt ihre Richtkraft oder die Eigenschaft, ihre bestimmte Lage anzunehmen, erst wieder bei einer Entfernung von mehreren Meilen vom magnetischen Nordpole.

4) Die Ablenkung (Abirrung, Deviation, Aberration) der Magnetnadel muß nicht verwechselt werden mit der erklärten Abweichung oder Deklination derselben. Unter Ablenkung der Magnetnadel versteht man die Entfernung derselben vom magnetischen Meridiane durch örtliche Anziehung von Eisen und eisenhaltigen Körpern, z. B. durch vorgehaltenes Eisen, durch Eisenerze in Bergwerken, durch die eisenhaltigen Felsmassen im Meere, durch eisenhaltige Gebirge u. s. w. Vorzüglich wichtig ist die Kenntnis und Schätzung dieser Ablenkung beim Steuerkompaß durch das auf dem Schiffe sich befindende Eisen, wie Anker und Kanonen, weil die Unkenntnis derselben zu falschen magnetischen Abweichungsbestimmungen und dadurch zu falschen geographischen Ortsbestimmungen führt, wenn letztere nicht auf astronomischem Wege geschehen. Die Störungen des Schiffseisens auf den Kompaß sucht man jetzt aufzuheben, oder wie man sagt, seine Wirkung zu neutralisieren, durch Anwendung eines Stückes Eisen, gewöhnlich einer kreisrunden Scheibe, welche so gestellt wird, daß sie durch ihre Anziehung der durch das Schiffseisen hervorgebrachten Anziehung entgegenwirkt und sie aufhebt.

201. 1) Auf die Erscheinungen der Deklinations- und Inklinationsnadel und darauf, daß Eisenstäbe schon durch eine bestimmte Lage Magnetismus annehmen, gründet sich die Behauptung: daß die Erde selbst ein Magnet sei und als solcher wirke, und daß es also einen Erdmagnetismus gäbe. Sowohl die Erscheinung, daß sich Eisenfeilspäne an einen Magnetstab so anlegen, daß sie über den Polen senkrecht stehen, nach der Mitte zu sich neigen und da horizontal liegen, als auch die Erscheinung, daß eine über einem Magnetstabe freischwebende Magnetnadel mit ihm parallel liegt, oder sich zu ihm neigt, oder sich gar senkrecht auf ihn stellt, je nachdem sie über dem Indifferenzpunkt, oder über Stellen zwischen diesem und den Polen, oder endlich über den Polen selbst gehalten wird, stimmen ganz überein mit den Erscheinungen an der Inklinationsnadel auf dem magnetischen Äquator, an Orten zwischen diesem und den magnetischen Erdpolen und auf den letzteren selbst. Daß also Eisen durch eine bestimmte Lage und in der angegebenen Art Magnetismus annimmt, kommt daher, daß die Erde als Magnet durch Verteilung auf dasselbe wirkt; es hat daher diese Erscheinung beweisende Kraft für den Erdmagnetismus.

Barlows Terrellen. — Wie entsteht der Erdmagnetismus? — Da wir den nach Norden zeigenden Pol eines Magneten den Nordpol und den andern also den Südpol nennen, so müssen wir der Nordhälfte der Erde Südmagnetismus, und der Südhälfte Nordmagnetismus zuschreiben; die Engländer und Franzosen

aber nennen den Magnetismus der Nordhälfte der Erde Nordmagnetismus und den der Südhälfte Südmagnetismus, daher heißt bei ihnen unser Nordpol der Magnetnadel der südliche, und unser Südpol der nördliche Pol.

2) Wie die Deklination und Inklination an verschiedenen Orten verschieden groß sind, so gilt das auch von der Stärke oder der Intensität der magnetischen Kraft der Erde. Sie nimmt im allgemeinen mit der Inklination zu, ohne daß jedoch die Orte gleicher Inklination auch Orte gleicher Intensität sind. Auch hier zeigt sich der Zusammenhang der Wärme mit dem Magnetismus, da die Intensität nach den kälteren Gegenden zunimmt, und da das Minimum der Intensität in Südafrika und in Peru, wo das Maximum der Erdwärme stattfindet, beobachtet worden ist. Bestimmt wird die Intensität aus der Geschwindigkeit, mit welcher dieselbe Magnetnadel an verschiedenen Orten schwingt, und zwar verhalten sich nach den Pendelgesetzen die magnetischen Kräfte zu einander, wie die Quadrate der Schwingungszahlen in gleichen Zeiten, wobei jedoch der Einfluß der Wärme, die Nähe von Eisenmassen und manche Veränderungen, welche die Nadel im Laufe der Zeit erleidet, die Resultate unsicher machen. Die Verbindung der Orte gleicher magnetischer Intensität führt auf die sogenannten isodynamischen Linien oder die Isodynamen. Auch die Intensität scheint in Abnahme zu sein.

Das Magnetometer von Gauß. — Der von A. v. Humboldt gestiftete magnetische Verein hat zum Zweck die Erforschung des Erdmagnetismus, wie er sich kundgiebt durch die magnetische Deklination, Inklination und Intensität, welche sich gleichzeitig auf große Strecken, wenn auch in verschiedenen Graden, ändern. Zu den regelmäßigen magnetischen Veränderungen gehören die säkulären und periodischen, zu den unregelmäßigen die plötzlichen Störungen oder Perturbationen.

Das ganze System der magnetischen Linien hat keine feste, unveränderliche Lage, wie schon aus den Veränderungen der Deklination, Inklination und Intensität hervorgeht. Der magnetische Nordpol scheint sich nach Osten, der Südpol nach Westen zu bewegen, und die Durchschnittspunkte des magnetischen Äquators mit dem geographischen rücken von Osten nach Westen hin, denn im Jahre 1780 betrug die Länge der beiden Knotenpunkte 17° und 180°, in dem Jahre 1822 die des ersten 3° 45', im Jahre 1825 die des zweiten 170° 58'.

202. 1) So wie die ruhende Deklinationsnadel den magnetischen Meridian als diejenige Ebene angiebt, in welcher die magnetische Kraft der Erde wirkt, so giebt die Richtung der Inklinationsnadel auch die Richtung an, in welcher die magnetische Kraft in der magnetischen Meridianebene ihre Wirkung ausübt. Diese Kraft kann durch das Parallelogramm der Kräfte in eine senkrechte und eine horizontal wirkende Seitenkraft, welche die Oscillation der Deklinationsnadel bewirkt, zerlegt gedacht werden; jene bleibt ungeändert dieselbe, in welcher Ebene auch immer die Nadel schwingt, diese aber ist am größten, wenn sie im magnetischen Meridiane schwingt, also die Schwingungsebene

mit dem Meridiane zusammenfällt, und ist Null, wenn sich die Achse im Meridiane befindet, die Schwingungsebene also auf dem Meridiane senkrecht steht. Die horizontale Kraft zieht die Inklinationsnadel von der senkrechten Lage ab; wo sie also gleich Null ist, muß die Nadel senkrecht stehen, daher beträgt ihre Neigung im magnetischen Meridiane etwa 68° und nimmt immer zu, indem die Schwingungsebene vom magnetischen Nordsüd nach und nach in das magnetische Ostwest übergeht, und wird 90°, d. i. die Nadel steht senkrecht, wenn die Schwingungsebene wirklich jene Lage erreicht; bei einer ganzen Umdrehung nimmt daher der Inklinationswinkel zuerst von 68°—90° zu, dann ab von 90°—68°, dann wieder zu von 68°—90° und endlich abermals ab von 90°—68°. Um also die Inklination in ihrer wirklichen Größe sichtbar zu machen, ist es durchaus nötig die Inklinationsnadel so zu stellen, daß ihre Schwingungsebene in den magnetischen Meridian fällt.

2) Eine astatische Nadel ist eine solche Magnetnadel, auf welche die magnetische Richtungskraft der Erde gar nicht oder nur sehr schwach wirkt, weshalb sie in dem einen Falle kein Bestreben zeigt, eine bestimmte Richtung anzunehmen und mithin in jeder Lage ruhen kann, während sie in dem andern Falle schon durch geringe magnetische Kräfte aus der angenommenen Richtung gebracht werden kann. Eine Magnetnadel wird schon durch die Art der Aufstellung astatisch, wenn sie nämlich so aufgestellt wird, daß die sie tragende Achse die Richtung der Inklinationsnadel, also auch die Richtung der magnetischen Kraft der Erde angiebt, die Nadel sich mithin nur in der auf einer Inklinationsnadel senkrechten Ebene bewegen kann. Man nennt aber eine Nadel auch dann astatisch, wenn sie, auf gewöhnliche Weise aufgestellt, in jeder Lage, nicht blos im magnetischen Meridiane, zur Ruhe kommen kann, was man durch eine Doppelnadel erreicht, wenn man nämlich zwei gleich starke Magnetnadeln so mit einander verbindet, daß sie in einiger Entfernung zu einander parallel und mit den ungleichnamigen Polen nach derselben Seite hin liegen. Sind die beiden Magnetnadeln nur fast gleich stark, so stellt sich zwar die Doppelnadel, so wie es die stärkere der beiden Magnetnadeln fordert, in den magnetischen Meridian, kann aber durch die schwächste magnetische Einwirkung daraus gebracht werden. Hierauf gründet sich der Gebrauch dieser Nadeln zur Entdeckung geringer Grade von Magnetismus.

Zehnter Abschnitt.

Von der Elektricität.

203. 1) Ein Körper ist elektrisch oder zeigt elektrische Erscheinungen, wenn er leichte Körperchen zuerst anzieht, und nach erfolgter Berührung zurückstößt, im Finstern leuchtet; wenn ihm der Finger genähert wird, einen Funken von sich giebt, der einen Stich verursacht und von einem Knistern begleitet ist; ferner wenn er stark elektrisch ist, einen phosphorartigen Geruch verbreitet, und die Eigentümlichkeit hat, daß man in ein Spinngewebe zu greifen glaubt, wenn man ihm die Hand nahe bringt. Die Ursache der elektrischen Erscheinungen nennt man Elektricität.

Elektricität von ἤλεκτρον, Bernstein, an welchem man zuerst die angeführten Erscheinungen bemerkte, die schon zur Zeit des griechischen Philosophen Thales von Milet, 600 v. Chr., gekannt waren.

2) Die Elektricität eines Körpers kann unmittelbar oder mittelbar erregt werden. Jenes geschieht durch Reibung oder Berührung zweier Körper, die beide noch unelektrisch sind; durch Erwärmung oder Änderung des Aggregatszustandes; durch Magnetismus, durch chemische oder organische Prozesse; dieses dadurch, daß ein Körper die Elektricität von einem andern schon elektrischen Körper, indem er ihm sehr nahe kommt oder ihn berührt, erhält.

Eine Siegellackstange, mit einem Stücke Tuch gerieben, wird elektrisch; eine Zinkplatte und eine Kupferplatte, mit einer gläsernen Handhabe versehen, zeigen sich nach der Berührung elektrisch. Der Turmalin und Topas werden durch heiße Asche, der Stangenschwefel durch die bloße Handwärme, seidene Kleider durch die Körperwärme, Siegellack und Chocolade durch Schmelzen elektrisch. Eine Metallplatte auf einer gläsernen Handhabe wird durch Berührung mittelst einer geriebenen Siegellackstange elektrisch. Elektrische Fische, z. B. der Zitterrochen, Zitteraal, Zitterwels.

204. 1) Die Körper werden, in Beziehung auf ihr Verhalten gegen elektrische Körper, in Leiter und Nichtleiter eingeteilt. 1) Die Leiter geben die in ihnen unmittelbar erregte Elektricität sofort weiter, und können daher durch Reiben, wenn wir sie in der bloßen Hand halten, nicht elektrisch werden, sondern nur wenn wir sie vorher mit Nichtleitern umgeben, während die Nichtleiter durch Reiben immer elektrisch werden. Man nannte daher früher die Leiter unelektrische Körper, weil man glaubte, sie könnten überhaupt nicht elektrisch werden. 2) Wird einem Nichtleiter an einer Stelle Elektricität mitgeteilt, so wird nur diese Stelle elektrisch; wird dagegen einer Stelle eines Leiters Elektricität mitgeteilt, so verbreitet sie sich augenblicklich über seine ganze Oberfläche. 3) Berührt man endlich einen elektrischen Nichtleiter mittelst eines Leiters, so nimmt man dadurch nur der berührten Stelle

die Elektricität, während ein elektrischer Leiter auf diese Art berührt, seine ganze Elektricität verliert.

Die besten Leiter sind: Metalle, Graphit, Kohle, die flüssigen Säuren, Wasser; weniger gute sind alle wasserhaltigen Körper, daher auch die Pflanzen und Tierkörper, der Erdboden. Die besten Nichtleiter sind Glas, Harz, Gutta-Percha, Seide, Haare. Trockene Luft gehört zu den Nichtleitern, feuchte Luft zu den Halbleitern, zu denen man auch Papier, Elfenbein und Thon rechnet. Die Metalle sind auch die besten Wärmeleiter.

2) Da ein Leiter die dargebotene Elektricität schnell auf seiner ganzen Oberfläche annimmt, sie aber eben so schnell einem andern genäherten Leiter abgiebt, ein Nichtleiter aber die Elektricität nur an der Berührungsstelle annimmt und nicht weiter führt, so wird ein Leiter mitgeteilte Elektricität nur dann längere Zeit behalten, wenn er nur mit Nichtleitern in Berührung ist. Einen Leiter nur mit Nichtleitern in Berührung bringen, heißt ihn *isolieren*, weshalb man die Nichtleiter auch *Isolatoren* nennt. Man isoliert einen Leiter, wenn man ihn auf eine Glas- oder Harzunterlage legt, oder ihn an seidenen Schnüren aufhängt, oder, wenn er ein flüssiger ist, ihn in eine gläserne Flasche einschließt.

Ein Stuhl, dessen Füße auf Glas oder Harz stehen, wird Isolierstuhl genannt.

Die vier Hauptarten Elektricität zu erregen, sind die *Reibung*, Friktion; die *Berührung*, Kontakt; die *Induktion*, d. h. die Einwirkung der Elektricität selbst, insbesondere aber des Magnetismus unter gewissen Bedingungen; und die *Wärme*. Die aus diesen Quellen hervorgehende Elektricität heißt in derselben Ordnung:

Friktionselectricität, Reibungselektricität, auch Maschinenelektricität.

Kontaktelektricität, Berührungselektricität, Galvanismus, Voltaismus, Galvano-Voltaismus, auch Hydroelektricität.

Induktionselektricität, insbesondere Magnetoelektricität.

Thermoelektricität, Wärmeelektricität.

Diese Elektricitäten aus verschiedenen Quellen haben gleiche Natur; Abweichungen in den Erscheinungen werden nach Faraday nur dadurch hervorgebracht, daß die Elektricitäten verschiedenen Ursprungs in Quantität und Intensität nicht übereinstimmen. Die eine Quelle giebt viele Elektricität von geringer, die andere wenige Elektricität von großer Intensität

---

I. Friktionselektricität.

1. Von der elektrischen Anziehung, Abstoßung, Verteilung oder Influenz und Mitteilung.

205. 1) Es ist nicht schwer, in dem Verhalten elektrischer Körper gegen einander einen Gegensatz zu bemerken, der die Physiker veranlaßt, *zwei entgegengesetzte Elektricitäten* anzunehmen. Die Haupt-

erscheinungen, welche den Gegensatz begründen, sind folgende: a) Eine mittelst Wollenzeug geriebene Siegellackstange zieht ein an einem seidenen Faden hängendes Korkkügelchen — isoliertes Pendel — an, stößt es nach erfolgter Berührung sogleich ab, und zieht es nicht eher wieder an, bis ihm die Elektricität, z. B. durch Berührung mit der Hand, entzogen worden ist. Genau dasselbe sieht man, wenn man sich zu diesem Versuche einer auf dieselbe Art geriebenen Glasröhre bedient. Nähert man aber ein solches von der Siegellackstange angezogenes und darauf abgestoßenes Korkkügelchen der geriebenen Glasröhre, so wird es von dieser sofort angezogen; auf gleiche Art wird ein von der Glasröhre abgestoßenes Korkkügelchen von der Siegellackstange angezogen. b) Zwei Korkkügelchen, beide an der Glasröhre, oder beide an der Siegellackstange elektrisiert, stoßen einander ab; ziehen sich aber an, wenn das eine von der Glasröhre, das andere von der Siegellackstange seine Elektricität erhalten hat, und zeigen nach geschehener Berührung, wenn sie gleich stark elektrisiert waren, keine Spur von Elektricität.

2) Diese zwei Elektricitäten, von denen jede sich selbst flieht, die andere aber anzieht, nannte man sonst allgemein *Glas-* und *Harzelektricität*, weil man der irrigen Meinung war, es sei die eine Elektricität immer an das Glas, und die andere auf gleiche Art immer an das Harz gebunden, und jeder andere Körper könne nur immer unverändert eine von beiden annehmen. Später aber fand man, daß nicht blos der geriebene, sondern auch der reibende Körper die Elektricität bestimmen, und daß sowohl Glas als Harz beide Elektricitäten annehmen können, je nach Beschaffenheit des Reibzeuges. Man führte daher, da sich die entgegengesetzten Elektricitäten, wenn sie gleich stark sind, wie gleiche entgegengesetzte Größen in der Mathematik aufheben, die Benennungen *positive* und *negative Elektricität* ein (+ E und — E), indem man die in dem mit Wolle geriebenen Glase entstehende Elektricität positiv, die in dem ebenfalls mit Wolle geriebenen Siegellack entstehende dagegen negativ nannte. Ein Körper ist also hiernach *positiv* elektrisch, wenn er solche Elektricität zeigt, wie das *mit Wolle geriebene Glas*; *negativ* elektrisch aber, wenn er solche Elektricität zeigt wie das *mit Wolle geriebene Siegellack*.

Glas mit Katzenfell gerieben giebt — E, so wie Harz mit einem Amalgam gerieben + E. System der Unitarier (Aepinus, Franklin), System der Dualisten (du Fay, Symmer 1759, Koulomb).

206. So wie in der Lehre vom Magnetismus giebt es auch hier zwei Hauptgesetze, und zwar wie dort: *das Gesetz der Anziehung und Abstoßung*, *und das Gesetz der Verteilung oder Influenz*. Das erste, welches die Experimente mit den Korkkügelchen unmittelbar ergeben, lautet: *ungleichnamige Elektricitäten* (+ E und — E) *ziehen einander an, gleichnamige Elektricitäten* (+ E und + E, ebenso — E und — E) *stoßen einander ab*.

Wie prüft man mittelst Korkkügelchen, ob ein elektrischer Körper + E oder — E hat?)

Die Stärke der elektrischen Anziehung und Abstoßung ist umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung, wie Koulomb mittelst der von ihm erfundenen Drehwage (Gehler II, Figur 181) bewiesen hat.

207. Die Elektricität, welche in einem Körper durch einen andern bereits elektrischen Körper hervorgebracht wird, ist durch Mitteilung entstanden, wenn eine förmliche Berührung, oder doch das Überspringen eines Funkens aus dem elektrischen in den bis dahin unelektrischen Körper, stattgefunden hat, oder durch Verteilung, wenn er schon in größerer Entfernung Elektricität zeigt.

1) Die Entfernung, in welcher ein elektrischer Körper auf andere durch Verteilung wirkt, heißt sein Wirkungskreis, auch seine elektrische Atmosphäre, und das Gesetz der Verteilung oder Influenz lautet: Jede Elektricität sammelt in ihrem Wirkungskreise in dem zugewendeten Teile eines genäherten Körpers die entgegengesetzte, in dem entfernteren dagegen die gleichnamige Elektricität.

Wir denken uns auch hier auf Grund der folgenden Versuche, daß in jedem Körper beide Elektricitäten enthalten sind, aber in einem gebundenen Zustande, welcher sie nach außen zu wirken verhindert, und daß die Einwirkung des elektrischen Körpers auf ihn nur darin besteht, daß er die wechselseitige Bindung der Elektricitäten aufhebt, sie frei macht, und nach dem Gesetze der Anziehung und Abstoßung die entgegengesetzte an sich zieht, die gleichnamige aber von sich entfernt. Diese durch Verteilung in einem Körper entstandene Elektricität verschwindet aber, sobald er aus dem Wirkungskreise des elektrischen Körpers gezogen wird.

Der Engländer Canton 1753, der Schwede Wilke 1757, Äpinus in Berlin 1759.

a) Nähert man einem elektrischen Körper einen isolierten Leiter (z. B. dem Konduktor einer Elektrisiermaschine einen auf Glasfüßen stehenden Metallcylinder, oder auch nur einer geriebenen Siegellackstange einen isolierten Draht), so gehen die mittelst leinener Fäden an den Enden des Leiters paarweise angehängten Korkkügelchen auseinander, nicht aber, wenn sie sich in der Mitte befinden, und Korkkugelpaare zwischen diesen drei Hauptstellen divergieren weniger als an den Enden; die Prüfung der Elektricität der Korkkügelchen zeigt, daß der isolierte Leiter an dem Ende, welches dem Konduktor zugewendet ist, die ihm entgegengesetzte, an dem Ende, welches dem Konduktor abgewendet ist die ihm gleiche Elektricität besitzt. Auch schließen wir aus der Divergenz der Korkkügelchen, daß beide Elektricitäten nach der Mitte des isolierten Leiters hin abnehmen. Wird nun der isolierte Leiter aus dem Wirkungskreise des Konduktors gebracht, so verliert er alle Elektricität, wie wir aus dem Zusammenfallen der Korkkügelchen sehen, weil die vorhin getrennten Elektricitäten sich nun wieder vereinigen, also aufheben. Wird aber der Leiter, während er im Wirkungskreise des Konduktors ist, an dem abgekehrten Ende mit der Hand berührt, so

fallen zwar die Korkkügelchen dieses Endes zusammen, gehen aber sogleich wieder auseinander, sobald man den Leiter aus dem Wirkungskreise herauszieht, und der Leiter zeigt nun die dem Konduktor entgegengesetzte Elektricität. Bei der Berührung des Leiters mit der Hand entweicht nämlich die dem Konduktor gleiche Elektricität in die Erde; die Korkkügelchen fallen zusammen, weil die zurückbleibende Elektricität durch die entgegengesetzte des Konduktors gebunden wird, und gehen auseinander, sobald dies nicht mehr der Fall ist. Ein durch Verteilung elektrisch gewordener Körper kann selbst wieder auf einen andern verteilend wirken, und dieser zweite auf einen dritten u. s. w., selbst wenn, wie Rieß und Faraday bewiesen haben, Nichtleiter als Zwischenkörper vorkommen.

b) Ist der genäherte Körper ein nicht isolierter Leiter, so ist zwar die Einwirkung des elektrischen Körpers auf ihn dieselbe, da aber die frei abgestoßene Elektricität in die Erde sofort abgeführt wird, und die angezogene, sobald sie durch Entfernung des Leiters aus dem Wirkungskreise des Konduktors frei wird, sich mit der aus der Erde zugeführten $\pm$ E ausgleicht, so kann ein Leiter in diesem Falle keine Elektricität zeigen.

c) Mit a und b hängen folgende über Influenz belehrende Versuche zusammen. 1) Zwei gleich große isolierte metallne Kugeln A und B werden neben einander so gestellt, daß sie sich berühren. Wird nun z. B. ein negativ elektrischer Körper der A hinlänglich genähert, darauf B und dann auch A entfernt, so zeigt sich B negativ, A aber positiv elektrisch — offenbar wurde durch den negativ elektrischen Körper die negative Elektricität aus A nach B abgestoßen, und die positive aus B nach A angezogen. Werden nach der Trennung die Kugeln wieder einander genähert, so entsteht zwischen ihnen ein Funken, und sie zeigen hierauf keine Elektricität mehr. 2) Versehen wir die Kugel A auf irgend eine Art mit einer der beiden Elektricitäten, so werden in der Kugel B, wenn wir sie in die Wirkungssphäre von A bringen, durch Influenz nach (a) beide Elektricitäten getrennt. Hätte A die + E, so wird in B die — E angezogen und die + E abgestoßen, bei Verminderung der Entfernung entsteht zwischen den Kugeln ein Funken, und A zeigt hierauf gar keine, B aber positive Elektricität — offenbar haben sich hier die + E in A und die — E in B zum Funken vereinigt, und B behielt seine eigne + E, so daß B diese + E nicht von A erhalten hat. — 3) Wird der Versuch so abgeändert, daß B leitend mit der Erde verbunden wird, so entsteht zwar auch der Funken, aber B kann hierauf seine + E nicht zeigen, da diese schon vor dem Entstehen des Funkens zur Erde abgeleitet war.

2) Wenn zwei Körper an einander gerieben werden, so zeigt der eine eben so viel + E, als der andere — E, wenn nicht irgend wie eine Ableitung stattgefunden hat. Es ist, wie wenn durch die Reibung zuerst eine Verteilung der beiden Elektricitäten in jedem Körper, und darauf eine Anhäufung der + E auf dem einen und der — E auf

dem andern einträte. Welcher von zwei an einander geriebenen Körpern positiv, welcher negativ elektrisch wird, kann man nur durch den Versuch feststellen; das Resultat des Versuches ist dabei wesentlich von der Beschaffenheit der Oberflächen abhängig, so daß man nicht imstande ist, die Körper so in eine Reihe (Spannungsreihe) zu ordnen, daß etwa jeder vorhergehende mit dem folgenden gerieben + E erhält.

208. 1) Die Mitteilung des Magnetismus ist nur eine Verteilung desselben, der dabei gebrauchte Magnet verliert nichts von seiner Kraft, und so sind magnetische Verteilung und Mitteilung gleichbedeutend (§ 199, 1); zwischen der elektrischen Verteilung und Mitteilung aber zeigt sich ein Unterschied. Der mitteilende Körper verliert so viel von seiner Elektricität, als der andere erhält, aber der Mitteilung geht immer eine Verteilung voran. Wird einem elektrischen Körper ein isolierter Leiter genähert, so wirkt zuerst die Verteilung nach § 207, dann aber findet bei hinlänglicher Annäherung der beiden Körper ein wirkliches Hinüberströmen der Elektricität statt, so daß der ursprünglich elektrische Körper dem ursprünglich nicht elektrischen von seiner Elektricität mitteilt, und ihn so gleichnamig elektrisch macht.

Bei dem Anziehen und Abstoßen der Körper durch elektrische Körper findet zuerst eine Verteilung, dann, weil die ungleichnamigen Elektricitäten einander gegenüberstehen, ein Anziehen, und zuletzt wegen der gleichnamigen Elektricitäten ein Abstoßen statt.

2) Bei der Mitteilung der Elektricität ist die Gestalt der Körper von großem Einflusse. Genau ebene Körper geben die Elektricität ebenso schwer ab, als sie dieselbe annehmen, leichter schon die abgerundeten, am leichtesten aber die spitz zulaufenden; und merkwürdig ist dabei die Form des elektrischen Lichtes, welches bei abgerundeten Körpern meist als Funken, bei Spitzen meist als Feuerbüschel erscheint.

Die aus Spitzen ausströmende + E zeigt sich als Feuerbüschel, die — E als leuchtender Punkt oder Stern. Wird eine Spitze einem Körper mit + E entgegengehalten, so zeigt sich auf ihr ein leuchtender Punkt, ein Feuerbüschel dagegen, wenn jener Körper — E hat. Die Lichtenbergschen Figuren, strahlig oder rundlich, beweisen die Verschiedenheit der beiden Elektricitäten.

3) Die Elektricität haftet nur an der Oberfläche der Körper, ihre Stärke, (Spannung, Intensität) aber, welche im allgemeinen, wenn sie ursprünglich ist, von der Größe und materiellen Beschaffenheit der Körper, wenn sie mitgeteilt ist, von der Stärke der Elektricität des mitteilenden Körpers abhängt, ist nicht immer an allen Stellen der Oberfläche gleich groß. Auch hier ist die Gestalt der Körper von großem Einfluß; so zeigt z. B. eine elektrische Kugel an allen Stellen der Oberfläche denselben Grad von Elektricität, bei einer Pyramide dagegen haben die Kanten einen höheren Grad, als die Flächen, und einen noch höheren die Ecken.

Werden eine elektrische massive Metallkugel und eine ebenso große unelektrische hohle Metallkugel mit einander berührt, so findet man nach der Berührung die Elektricität unter sie gleich verteilt. Wird ein Scheibchen von Gold- oder Silberpapier, an einem seidenen Faden isoliert, in eine gebohrte Öffnung eines elektrischen massiven Körpers heruntergelassen, so nimmt es bei der Berührung

der inneren Wände nirgends Elektricität an, wohl aber bei Berührung des obersten Randes und andrer Punkte der Oberfläche.

Auf der elektrischen Anziehung, Abstoßung, Verteilung und Mitteilung beruhen alle elektrischen Erscheinungen und Instrumente, von welchen letzteren hier nur die zu einem elektrischen Apparate notwendig gehörenden herausgehoben werden sollen.

2. Von den elektrischen Instrumenten.

209. Instrumente, deren Bestimmung ist, ursprüngliche Elektricität in bedeutender Menge zu erregen sind: die Elektrisiermaschine, die Influenzmaschine und der Elektrophor.

1) Die Elektrisiermaschine hat drei wesentliche Teile: a) den geriebenen Körper oder den Reiber, einen Nichtleiter (gewöhnlich eine Glasscheibe), der an einer gläsernen Achse befestigt ist. b) Den reibenden Körper oder das Reibzeug, gewöhnlich zwei mit Haaren ausgestopfte und auf der dem Reiber zugewendeten Seite mit einem Amalgam (etwa ein Teil Zinn, ein Teil Zink und zwei Teile Quecksilber) bestrichene Lederkissen, die am besten auf einem Glasfuße stehen. c) Den Konduktor (Hauptteiler, erster Leiter), gewöhnlich ein hohler Messingkörper in Form eines Cylinders oder einer Kugel, der die Bestimmung hat, die durch das Aneinanderreiben jener beiden ersten Körper vom Reiber entstandene Elektricität, hier also die positive, aufzunehmen. Derjenige Teil desselben, der die Elektricität vom Reiber unmittelbar empfängt, heißt Zuleiter. Die besser eingerichteten Maschinen haben auch einen besonderen Konduktor für das Reibzeug; jener kann positiver, dieser negativer Konduktor genannt werden. Jeder isolierte Leiter, der mit dem Konduktor durch einen anderen Leiter in Verbindung steht, vergrößert ihn nur, so daß z. B. ein auf einem Isolierstuhl stehender Mensch, der den Konduktor berührt, als ein Teil des Konduktors zu betrachten ist.

2) a. Will man durch die Glasscheibe + E erhalten, so verbindet man das Reibzeug durch einen Leiter mit dem Boden. Der positive Konduktor zeigt sich dann bei erfolgter Drehung elektrisch. b. Will man dagegen — E haben, so muß man den positiven Konduktor mit der Erde leitend verbinden; dann zeigt sich der isolierte negative Konduktor elektrisch. c. Wird weder der positive noch der negative Konduktor mit der Erde leitend verbunden, so zeigt sich jener schwach positiv, dieser schwach negativ elektrisch. d. Werden endlich beide Konduktoren mit der Erde oder mit einander leitend verbunden, so zeigt keiner von beiden Elektricität. Die Wirksamkeit einer Elektrisiermaschine hängt vorzüglich ab: von der Größe der geriebenen Fläche beim Reiber, von der Anzahl der Umdrehungen, von der Wärme des Reibers und des Reibzeuges und von der Trockenheit der Atmosphäre.

Der Reiber und das Reibzeug werden nach § 207, 2, der Konduktor nach § 208, 1 elektrisch. — In den Fällen a und b bei (2) wird durch Ableitung der einen Elektricität die Bindung der andern verhütet.

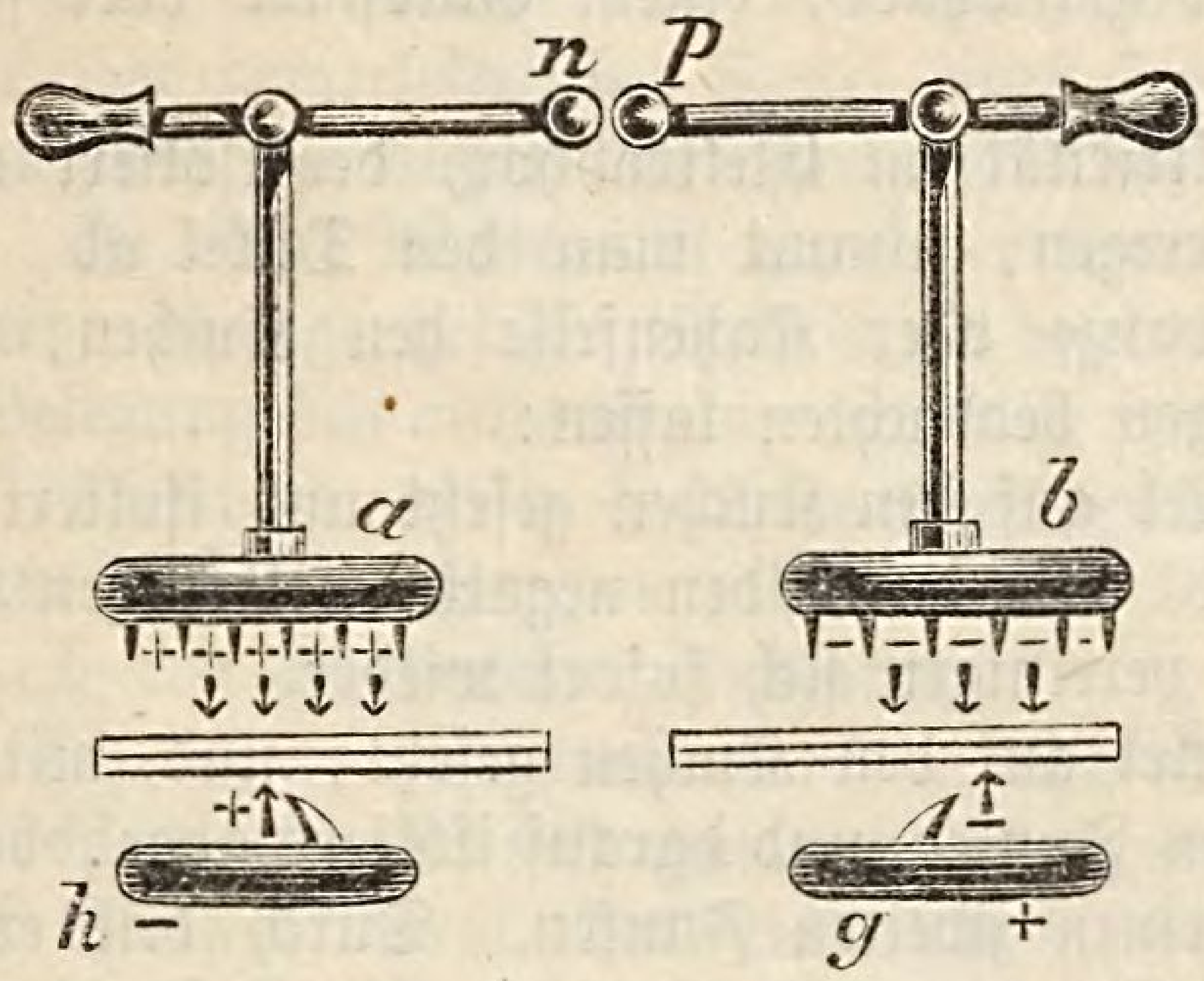
Harz-, Glas-, Zeugmaschinen; Cylinder- und Scheibenmaschinen. — Wie wird die Bewegung des Reibers bewirkt? Wozu dienen beim Kissen die elastischen Federn und das Stück Wachstaffet oder Seidenzeug? Wozu sind die isolierenden Glasfüße mit Lack überzogen? Warum ist der Konduktor möglichst abgerundet, und warum haben die Zuleiter an der dem Reiber zugewendeten Seite eine Schneide, oder besser Spitzen? Die größte Elektrisiermaschine ist die Scheibenmaschine von Kuthbertson im Teylerschen Museum zu Haarlem; sie hat zwei Scheiben von der Größe eines großen Wagenrades, acht Kissen, einen Konduktor von $23\frac{1}{2}$ Quadratfuß Oberfläche, welcher von fast 5 Fuß hohen Glasfüßen getragen wird. Sie giebt Funken von 2 Fuß Länge und der Dicke eines Federkiels. Als Erfinder der Elektrisiermaschine nennt man gewöhnlich Otto von Guericke (1676); sein Reiber war eine Schwefelkugel, sein Reibzeug nur die hohle Hand. Vollständige Elektrisiermaschinen, mit Reiber, Reibzeug und Konduktor, verfertigten 1744 zuerst Hautle und Winkler in Leipzig, Bose in Wittenberg.

Die **Influenzmaschine**, auch **Holtzsche Maschine** genannt, hat zwei Scheiben aus geradem, dünnem und gefirnißtem Glase, eine feste und eine drehbare. Die feste Scheibe hat drei Öffnungen; die eine runde Öffnung ist in der Mitte, und dient dazu, die Scheibe über eine Welle von Horngummi zu schieben, und auf einem Stabe von Horngummi zu befestigen. Die beiden andern eigentümlich geformten Öffnungen befinden sich nahe am Rande, und stehen einander diametral gegenüber. Neben diesen Öffnungen sind gefirnißte Papierstreifen aufgeklebt, von denen je ein zugespitzter Streifen von Kartonpapier bis in die Mitte der Öffnung hineinragt. Der festen Scheibe gegenüber steht parallel in geringer, durch Horngummischrauben zu regulierender, Entfernung die etwas kleinere bewegliche Scheibe, welche auf eine Welle von Horngummi aufgeschraubt ist. Diese Welle, und damit die an ihr befestigte Scheibe, kann durch eine Schnur, die nach einer durch eine Kurbel drehbaren Holzscheibe führt, in schnelle Rotation versetzt werden. Den Papierstreifen gegenüber stehen vor der beweglichen Scheibe zwei Messingstäbe, an welchen scharfe Spitzen angebracht sind, und von diesen führt je ein Messingstab nach den beiden Konduktoren. Diese Konduktoren sind durch Horngummi isolierte Messingstäbe, die auf der einen Seite in messingnen Kugeln endigen, während auf der andern Seite Handgriffe von Horngummi angebracht sind, durch welche die Kugeln, deren Messingstäbe durch je ein Scharnier gehen, einander bis zur Berührung genähert, und von einander entfernt werden können.

Um die Maschine in Thätigkeit zu setzen, bringt man die Kugeln der Konduktoren in Berührung, reibt ein Blättchen von Horngummi mit einem Fuchsschwanze, und hält es an die eine Papierbelegung h (Figur 127) dieser so — E mitteilend. Dieses negative Papier h zieht aus der Luft, und durch die gegenüberliegenden Spitzen aus dem Konduktor n + E an (die — E über n und p nach b zurückstoßend), und macht ihn so — elektrisch, während sich auf der rotierenden Scheibe + E

ansammelt. Diese + E kommt nach einer halben Drehung der rotierenden Scheibe an dem zweiten Ausschnitte an, entzieht der Papierbelegung g und dem Konduktor p die — E (die + E über p und n nach a zurückstoßend), macht beide + elektrisch, und wird dadurch nicht

Figur 127.



nur neutralisiert, sondern die + E des Papieres g ladet nun die rotierende Scheibe mit — E. Diese — E kommt nach einer ferneren halben Drehung wieder nach dem ersten Ausschnitt, und wird hier, indem es h und n + E entzieht, und beide also stärker — elektrisch macht, wieder neutralisiert und in + E verwandelt u. s. w. Auf diese Weise laden sich die beiden Konduktoren schnell und stark, n mit negativer und p mit positiver Elektricität, die man zwischen den Kugeln überströmen sieht und hört, sobald man dieselben von einander entfernt. Entfernt man die Kugeln dauernd über die Schlagweite hinaus, d. h. so stark von einander, daß ein Herüberströmen der Elektricitäten nicht mehr stattfindet, so hört die Wirksamkeit der Maschine auf, und man muß die eine Papierbelegung von neuem laden, was nicht notwendig ist, wenn man die Konduktoren in Berührung bringt, bevor man die rotierende Scheibe durch Loslassen der Kurbel in Ruhe versetzt.

Die Influenzmaschine ist eine viel ergiebigere Quelle der Elektricität, als die zuerst beschriebene Elektrisiermaschine. Bei der Dampfelektrisiermaschine wird die Elektricität durch Reiben von Wasserdampf und Metall erregt, da bei einem auf Glasfüßen ruhenden Dampfkessel der aus einer engen, gewundenen Röhre austretende wässrige Wasserdampf positiv, die Röhre selbst aber stark negativ elektrisch wird.

210. 1) Der Elektrophor, von Volta um das Jahr 1776 erfunden, hat drei Hauptteile: a) die Form oder Schüssel; b) den Kuchen, welche zwei Teile ein Ganzes, die Basis bilden; c) den Deckel oder die Trommel. Die Form ist meist eine runde Schüssel aus einem Leiter, aus Eisenblech oder Holz mit Zinnfolie, oder auch aus Pappe mit Gold- oder Silberpapier überzogen. Der Kuchen ist ein Nichtleiter, welcher die Schüssel ausfüllt, meist geschmolzenes Harz oder Siegellack, oder eine Mischung aus mehreren nichtleitenden Substanzen, wie 8 T. Kolophonium, 1 T. Terpentin und 1 T. Schellack,

oder, was die beste Mischung sein soll, 10 T. Schellack, 3 T. Harz, 2 T. Terpentin, 2 T. Wachs und ½ T. Pech, mit glatter ebener Fläche. Der Deckel endlich ist eine leitende runde Platte aus Eisenblech, aus Zinn, oder aus mit Staniol oder Silberpapier überzogener Pappe, von etwas kleinerem Durchmesser als der Kuchen, und mit einer isolierenden Handhabe, einem Glasstabe oder seidenen Schnüren versehen.

2) Um Elektricität im Elektrophor, der isoliert und nicht isoliert sein kann, zu erregen, nimmt man den Deckel ab, und peitscht mit einem Fuchsschwanze oder Katzenfelle den Kuchen, worauf sich drei Haupterscheinungen beobachten lassen:

a) Der Deckel auf den Kuchen gesetzt und isoliert abgehoben, zeigt keine Elektricität. Die durch den negativ elektrischen Kuchen gesonderte + E und — E vereinigen sich sofort wieder.

b) Der Deckel auf den Kuchen gesetzt, und mit dem Finger berührt, giebt einen Funken und darauf isoliert abgehoben, und mit dem Finger berührt einen zweiten Funken. Durch den ersten Funken entweicht die von der — E des Kuchens abgestoßene — E des Deckels; der Deckel hat jetzt nur + E, die nach dem isolierten Abheben vom Kuchen frei wird, und den zweiten Funken erzeugt.

c) Der Deckel endlich wieder auf den Kuchen gesetzt, giebt einen erschütternden Schlag, wenn man ihn und die Schüssel berührt; hebt man dann den Deckel isoliert ab, so erhält man einen stärkeren Funken, als im Falle b. Auch giebt beim isolierten Elektrophor die Schüssel Funken. Dies ist wohl so zu erklären: die freie — E der Schüssel wird durch die Berührung abgeleitet, hierauf zieht bei Berührung des Deckels dessen freie — E die + der Schüssel aus ihrer Bindung mit der — E des Kuchens, die, weil schon durch die + E des Deckels stark gebunden, auf die Schüssel schwächer wirkt, und die lebhafte Vereinigung der + E und der — E macht sich durch eine Erschütterung fühlbar. Die Schüssel beim isolierten Elektrophor giebt Funken bei einer Berührung, weil ihre — E frei ist.

Der Elektrophor behält seine Elektricität lange Zeit, wenn nur der Deckel liegen bleibt, daher seine Benennung Elektrophor, d. h. Elektricitätsträger. — Den größten Elektrophor hat Lichtenberg gebaut; die Form hat 2197 mm, der Deckel 1883 mm im Durchmesser. — Ein Glaselektrophor hat mit Wolle gerieben entgegengesetzte Elektricitätszustände. — Guttaperchaelektrophore, sowie Elektrophore, bei denen elektrisches Papier angewendet wird. — Im elektrischen Feuerzeuge wird Wasserstoffgas durch den elektrischen Funken eines Elektrophors entzündet.

211. a) Instrumente, deren Bestimmung ist, die durch die Elektrisiermaschine oder den Elektrophor erregte Elektricität anzuhäufen und dadurch verstärkte Wirkungen hervorzubringen, sind: die elektrischen Flaschen, Tafeln oder Batterien.

1) Die elektrische Flasche, auch elektrische Verstärkungsflasche, Leidener oder Kleistsche Flasche genannt, ist ein Becher von dünnem Glase, in- und auswendig mit Staniol bis 26 oder 52 mm vom oberen Rande überzogen. Im Innern des Bechers wird auf der

Metallbelegung ein starker Draht, der über demselben mit einem Knopfe hervorragt, aufgerichtet, welcher nur als eine zu Versuchen bequeme Erweiterung der inneren Belegung zu betrachten ist. Der obere unbelegte Rand wird gewöhnlich mit in Weingeist gelöstem Schellack überstrichen. Eine elektrische Flasche wird geladen, d. h. mit Elektricität versehen, wenn man den Knopf mit dem Konduktor einer thätigen Elektrisiermaschine oder dem elektrischen Deckel eines Elektrophors leitend verbindet, und zugleich die äußere Belegung mit der Erde in leitende Verbindung setzt. Je mehr Elektricität man der inneren Belegung zuführt, um so mehr entgegengesetzte Elektricität wird durch Verteilung auf der äußeren Belegung sich ansammeln, und diese beiden Elektricitäten binden einander. Entladen, d. h. ihrer Elektricität beraubt, wird eine Flasche, wenn beide Belegungen mit einander leitend verbunden werden, z. B. durch den Henleyschen Auslader.

Die elektrische Tafel, auch elektrische Verstärkungstafel oder Franklinsche Tafel genannt, ist eine Glastafel, auf beiden Seiten mit Staniol belegt, das nicht bis an die Ränder reicht, die mit Schellack überzogen sind. Die elektrische Tafel ist gleichsam eine in eine Ebene ausgebreitete elektrische Flasche.

Bei zu dünnem Glase der Leidener Flasche oder elektrischen Tafel vereinigen sich die beiden Elektricitäten nicht selten, indem sie das Glas durchbrechen und das Instrument unbrauchbar machen. — Selbstentladung. — Der elektrische Becherapparat ist eine Leidener Flasche, deren drei Teile drei auseinander nehmbare Becher sind. — Die Leidener Flasche kann ein Glaselektrophor genannt werden.

2) Die elektrische Batterie besteht aus mehreren elektrischen Flaschen, deren äußere Belegungen mit einander leitend verbunden sind, und ebenso die inneren: jene dadurch, daß alle Flaschen auf dem mit Staniol belegten Boden eines Kastens stehen, diese dagegen dadurch, daß entweder durch alle Knöpfe ein Draht gezogen ist, oder daß sich alle Drähte der Flaschen in einem gemeinschaftlichen Metallknopfe vereinigen. Aus der Natur der Leiter folgt, daß bei Ladung oder Entladung einer dieser Flaschen alle geladen oder entladen werden, und daß mithin eine elektrische Batterie wie eine elektrische Flasche geladen und entladen wird, und auch wie diese, aber in bedeutend verstärktem Maße, wirkt.

3) Bringt man mit der Kugel jedes Konduktors einer Influenzmaschine je eine Leidener Flasche, deren Draht mit einer Spitze, statt mit einer Kugel endigt, dadurch in leitende Verbindung, daß man diese Spitzen in je eine in dem Scharnier der Konduktoren angebrachte Öffnung steckt, so erhält man statt des elektrischen Stromes zwischen beiden Konduktoren sehr kräftige Funken mit bedeutender Schlagweite, die mit kurzen Unterbrechungen überspringen. Die hierzu benutzten Flaschen sind hohe dünne Gläser, die nur am oberen und unteren Rande innen und außen mit Staniol belegt sind, etwa 6 cm hoch. Der starke Draht, welcher in die Kugel des Konduktors gesteckt wird, bringt das Innere der Belegung des unteren Randes mit der Belegung des oberen Randes

in leitende Verbindung, indem er durch eine Staniolplatte geht, die das Glas oben schließt.

211. b) Die gewöhnlichsten Versuche mit den oben beschriebenen Apparaten folgen hier, werden aber nur angedeutet.

1) Mechanische Wirkungen. Man nähere ein Korkkügelchen an einem leinenen, ein anderes an einem seidenen Faden dem Konduktor einer Elektrisiermaschine; man hänge einen leinenen und einen seidenen Faden, an beiden Enden mit Korkkügelchen versehen, um den Konduktor. Puppentanz der Hollunder und Goldkügelchen, elektrisches Glockenspiel, das Aufschwellen eines Büschels von Haaren oder Baumwolle; das elektrische Flugrad, die elektrische Sichel. Erzeugung der Siegellackfäden, wenn man Tropfen flüssigen Siegellacks auf den Konduktor fallen läßt. Emporheben des Kopfhaares eines auf dem Isolierstuhle sitzenden und den Konduktor berührenden Menschen. — Durchbohrung eines Kartenblattes, ja eines ganzen Kartenspieles, wobei die Öffnung auf beiden Seiten einen erhabenen Rand zeigt, woraus hervorgeht, daß der elektrische Strom von beiden Belegungen zugleich ausgeht, so daß also von der äußeren Belegung zur inneren die eine, gleichzeitig aber auch von der inneren Belegung zur äußeren die andere Elektricität strömt.

2) Lichterscheinungen oder leuchtende Versuche. Im Finstern sieht man, wenn die Maschine gedreht wird, das elektrische Licht aus dem Reiber in den Zuleiter, und bei der Influenzmaschine durch die Spitzen strömen, während bei der letzteren der auch bei Tage sichtbare Strom zwischen den Konduktoren als schönes farbiges Band erscheint. Auf jeden genäherten Leiter springt aus dem Konduktor ein Funken — längere Funken beschreiben keine gerade, sondern eine Zickzacklinie — sowie aus allen Teilen eines, auf einem Isolierstuhle befindlichen Menschen, der mit dem Konduktor in leitender Verbindung steht; aus jeder am positiven Konduktor angebrachten Metallspitze strömt ein Strahlenkegel, sowie an jeder demselben genäherten Spitze ein leuchtender Punkt erscheint. Man kann einen Menschen mit einem elektrischen Strahlenkranze umgeben, und, weil Funken nur da erscheinen, wo in einem Leiter die Strömung der Elektricität unterbrochen wird, auch leuchtende, verschiedenfarbige Figuren auf Glas, welches mit nahe an einander liegenden Staniolstückchen belegt ist, hervorbringen. Blitzstrahl; Nordlicht. — Prächtige Lichterscheinungen zeigt der zwischen den Konduktoren einer Influenzmaschine übergehende elektrische Strom, wenn man ihn durch Geißlersche Röhren gehen läßt. Elektrisches Ei. —

3) Wärmeerregung und zündende Versuche. Entzündung leicht entzündlicher Körper, z. B. des Spiritus, Schwefeläthers, Harzstaubes durch den elektrischen Funken, ferner Entzündung des Knallgases in der elektrischen Pistole. Dünner Draht wird durch den elektrischen Funken glühend gemacht, sogar geschmolzen.

4) Chemische Wirkungen. Zersetzung des Wassers in Sauerstoffgas und Stickstoffgas, und Verbindung beider durch den elektrischen Funken. — Der bei elektrischen Strömen wahrnehmbare eigentümliche Geruch entsteht durch Bildung des aktiven Sauerstoffes, Ozon genannt.

5) Physiologische Wirkungen. Bemerkenswert sind das Gefühl bei der Annäherung der Hand an den Konduktor, als griffe man in Spinngewebe, welche Empfindung dadurch hervorgebracht wird, daß die feinen kleinen Härchen der Hand von der Elektricität angezogen und darauf abgestoßen werden, vorzüglich aber wohl dadurch, daß die vom Konduktor verursachte Bewegung der Luft als Wind empfunden wird. Der stechende Schmerz, wenn ein Funken durch den Körper geht, namentlich in den Gelenken, der bei starken Batterien, Lähmungen, ja selbst den Tod zur Folge haben kann; das Geräusch, das den Funken begleitet, und das bei der Influenzmaschine mit den Verstärkungsflaschen schon fast dem Knall einer kleinen Pistole gleich kommt. — Elektrisches Residuum, Rückstände in den Batterien nach der ersten Entladung.

6) Auch magnetische Wirkungen zeigen sich, denn wenn man, wie

Faraday that, das eine Ende des Multiplikators (§ 222) mit dem Konduktor einer starken Elektrisiermaschine, das andere Ende aber mit der Erde leitend verbindet, so weicht eine in den Multiplikator gestellte Magnetnadel östlich oder westlich ab. Stahlnadeln können magnetisch gemacht werden, wenn man sie in eine Glasröhre steckt, um diese einen Draht spiralförmig windet, und durch ihn einen starken Funken schlagen läßt. Die Nadel wird wieder unmagnetisch, wenn man den Draht statt rechts (wie ein Korkzieher) links um die Glasröhre windet, und einen zweiten elektrischen Funken durchschlagen läßt.

212. 1) Elektroskope sind Instrumente, welche dazu dienen zu bestimmen, ob ein Körper überhaupt Elektricität besitzt, und ob er + E oder — E hat. Durch Elektrometer bestimmt man, ob ein Körper Elektricität in einem höheren Grade besitzt, als ein anderer. Die Wirkung dieser Instrumente beruht auf der Verteilung und Mitteilung der Elektricität, so wie auf den Gesetzen der Anziehung und Abstoßung. Das einfachste ist das Kantonsche Elektroskop, bei welchem zwei Korkkügelchen an den Enden eines seidenen Fadens befestigt sind, so wie die empfindlichsten Voltas Strohhalmelektroskop und Bennets Goldblattelektroskop. Bei starken Elektricitäten braucht man das Henleysche Quadrantelektrometer, welches die durch die Elektricität hervorgebrachte Ablenkung nach Graden angiebt. Wie durch das Bennetsche Elektroskop der dreifache Zweck erreicht wird, läßt sich durch schwach geriebene Glas- und Siegellackstäbchen zeigen.

a) Ein Körper besitzt Elektricität, wenn er bei Annäherung an das Kügelchen, oder bei Berührung desselben eine Divergenz der Goldblättchen bewirkt. So lange man das — elektrische Siegellack in der Nähe des Kügelchens hält, divergieren die Goldblättchen; berührt man aber das Stäbchen bei unveränderter Haltung des Siegellacks, so divergieren sie nicht mehr, verlieren also ihre E, und bleiben in diesem Zustande, wenn der Finger weggenommen und der elektrische Körper unverändert an seiner Stelle gehalten wird, gehen aber sofort wieder auseinander, wenn zuerst der Finger und dann das Siegellack (nicht umgekehrt) entfernt wird. — Es wirkt hier zuerst die Verteilung. Die — E des Siegellacks stößt die — E des Stäbchens und Kügelchens nach den Goldblättchen zurück, und diese divergieren mit — E; berührt man nun das Stäbchen, so wird die — E in die Erde abgeleitet, und es bleibt nur + E zurück, mit der die Goldblättchen divergieren, sobald sie nicht mehr von der — E des Siegellacks gebunden ist.

b) Die Prüfung der Art der Elektricität geschieht in folgender Weise: Man bringt erst das — el. Siegellack in die Nähe des Kügelchens; die Goldblättchen gehen nach a) mit — E auseinander. Dann bringt man bei unveränderter Haltung des Siegellacks den zu untersuchenden Körper, etwa von der andern Seite, auch in die Nähe des Kügelchens; gehen die Goldblättchen noch mehr auseinander, so hat der zu untersuchende Körper — E, weil er so wie das Siegellack — E abstößt; wird aber die Divergenz der Goldblättchen vermindert oder aufgehoben, so hat der Körper + E.

Prüfung durch ein positiv elektrisches Glasstäbchen.

c) Bringt man an dem Instrumente zur Messung der Divergenz der Goldblättchen ein Teilung an, so wird dasselbe ein Elektrometer, und man schließt aus der Größe des Divergenzwinkels der Goldblättchen auf die Intensität der Elektricität.

2) Der Kondensator, Mikroelektrometer, dient zur Entdeckung schwacher Grade von Elektricität. Seine wesentlichen Teile sind: die Basis, Unterlage, gewöhnlich eine Metallscheibe von 52 bis 78 mm im Durchmesser mit einem nicht leitenden dünnen Überzuge aus Siegellack oder Firnis überzogen, und der Kollektor, Deckel, auch eine wie die Basis gefirnißte Mettallscheibe mit isolierender Handhabe.

Die Haupterscheinung ist hier die, daß der Deckel, indem er auf der Basis ruht, mitgeteilte Elektricität nicht zeigt, wohl aber, wenn er mit der nötigen Vorsicht entfernt wird. Die dem Deckel mitgeteilte Elektricität wirkt auf die Basis verteilend, da die Firnisschichten die Mitteilung hindern, bindet die entgegengesetzte Elektricität, und es ist, als besäße der Deckel noch gar keine Elektricität, weshalb er, wenn die Basis zur Ableitung der in ihr frei gewordenen gleichnamigen Eektricität berührt worden ist, von neuem noch welche annehmen kann, die aber sogleich eine gleiche Menge entgegengesetzter Elektricität in der Basis an sich zieht und bindet. Durch das auf diese Art fortgesetzte Verfahren kann der Deckel nach und nach so viel Elektricität aufnehmen, daß er, von der Basis abgenommen, wodurch die in ihm enthaltene Elektricität frei wird, auf ein Elektroskop wirken kann. Auch die Basis enthält, wenn sie isoliert ist, nach Abhebung des Deckels die andere Elektricität in freiem Zustande. Zuweilen ist die zu untersuchende Elektricität so schwach, daß man sich zu ihrer Entdeckung zweier Kondensatoren bedienen muß, indem man mit dem Deckel des einen wiederholt den eines zweiten berührt, und erst diesen einem gewöhnlichen Elektroskop nähert.

3) Es ist sehr zweckmäßig, bei Untersuchung schwacher Grade von Elektricität den Kondensator zugleich mit einem Elektroskop, z. B. dem Bennetschen, in Verbindung zu setzen, indem man an diesem das Kügelchen abschraubt, und statt desselben die Basis des Kondensators anschraubt. Beim Gebrauche dieses Doppelinstruments wird eine beliebige Platte des Kondensators mit dem zu untersuchenden Körper, die andern aber immer ableitend berührt; natürlich erhalten die Goldblättchen die der Elektricität des betrachteten Körpers entgegengesetzte oder gleichnamige Elektricität, je nachdem die Basis oder der Deckel ableitend berührt wird. Gehen also nach Abhebung des Deckels die Goldblättchen auseinander, so hat der untersuchte Körper Elektricität, und wird dabei durch (— el) Siegellack die Divergenz vermehrt, oder durch (+ el) Glas vermindert, so schließt man daraus: a) wenn die Basis ableitend berührt wurde. Da Siegellack die Divergenz vermehrt oder Glas vermindert, so haben die Goldblättchen, also auch die Basis — E, mithin der Deckel und der mit ihm in Berührung gekommene Körper + E; b) wenn der Deckel ableitend berührt wurde. Da Siegel-

lack die Divergenz vermehrt oder Glas vermindert, so haben die Goldblättchen, also auch die Basis, mithin auch der mit ihr in Berührung gekommenen Körper — E.

Bei überaus schwachen Graden der Elektricität bedient man sich mit Vorteil zweier solcher Instrumente mit ungleichen Kondensatorplatten, wodurch eine größere Vervielfältigung der Elektricität bewirkt wird. In der Basis des großen Kondensators wird die untersuchte Elektricität kondensiert und mit seinem Deckel, welcher die entgegengesetzte Elektricität ebenfalls kondensiert enthält, der Deckel des kleinen Kondensators berührt, wodurch die Basis desselben, folglich auch die Goldblättchen, die Elektricität des untersuchten Körpers erhalten.

Drei Glasstückchen, noch besser aber drei Siegellack- oder Schellacktröpfchen auf dem Tische, in Form eines Dreiecks, mit darauf gelegtem Deckel, geben auch schon einen Kondensator; der Tisch und die zwischen ihm und dem Deckel sich befindende Luftschicht sind dabei die Basis. Der Kondensator ist von Volta 1782 erfunden. Das empfindlichste Elektrometer, der Multiplikator ist elektromagnetischer Natur (§ 222, 2).

3. Von den Elektrometeoren.

213. Die Lichterscheinungen, welche durch die Elektricität hervorgebracht werden, oder die Elektrometeore, sind vorzüglich der Blitz, in dessen Gefolge der Donner ist, das Wetterleuchten, die Wetterlichter, die Wasserhosen und die Polarlichter.

1) Der Blitz ist ein großer elektrischer Funke, ein Feuerball zwischen zwei Wolken oder einer Wolke und der Erde, welcher gewaltsam die Luft trennt und dadurch, indem die getrennte Luft wieder zusammenströmt, ein Getöse (wie der gewöhnliche Funke einer Elektrisiermaschine ein Geräusch, und das Fünkchen der geriebenen Siegellackstange ein Knistern) verursacht, welches, indem es die Erde und die Wolken als Echo wiedergeben, den Donner hervorbringt. Da der Blitz oft einen weiten Weg, wohl 8 km und darüber, durchläuft, so gelangen die an verschiedenen Punkten entstandenen Detonationen des Donners (§ 144, 2) in verschiedenen Zeiten in unser Ohr. — Der Zickzack des Blitzes, ein wiederholtes Abspringen vom geradlinigen Wege, entsteht wahrscheinlich dadurch, daß der Blitz die vor sich her getriebene Luft sehr verdichtet, und weil die verdichtete Luft ein schlechter Elektricitätsleiter ist, sich nach der dünneren Luft als besserem Leiter wendet.

Der Blitz wirkt in vergrößertem Maßstabe ganz so wie Schläge der elektrischen Batterie. Vor dem Einschlagen des Blitzes schützt man Gebäude durch Blitzableiter, deren Erfinder Franklin ist (1752). Sie entkräftigen Gewitterwolken kaum, auch verhüten sie den Blitz nicht, sondern sie leiten nur den einschlagenden Blitz von Gebäuden ab in die Erde, und machen ihn dadurch unschädlich. Das Wesentliche eines Blitzableiters besteht darin, daß an das Gebäude vom Gipfel an bis einige Fuß unter die feuchte Erdoberfläche eine zusammenhängende

Metallverbindung angelegt wird, welche über dem Dache mit der sogenannten Fangstange, die in eine feine, nicht rostige Spitze endet, versehen ist. Sind Metallmassen (z. B. ein Zinkdach) am Gebäude, so müssen sie mit dem Blitzableiter leitend verbunden werden. Der Blitz und der Donner, begleitet von Regen, Hagel, Sturm u. s. w., bilden das Gewitter. Die Gewitter gehören bei uns vorzugsweise dem Sommer an, und zwar den Nachmittagen schwüler Tage; Gewitter im Winter sind gewöhnlich sehr heftig. An der Küste Norwegens und der Westküste von Nordamerika sind die Wintergewitter häufiger.

Blitzableiter aus Metallstreifen, gewöhnlich Bleistreifen, aus Messingdraht, besser aus geflochtenen Messingdrähten, aus Eisenstangen. — Die Spitzen werden vergoldet, damit sie nicht rosten, gehen auch in massives Silber oder in eine 39 mm lange Platinnadel aus.

Daß die Luft stets elektrisch ist haben Volta, Saussure, Arago, Schübler nachgewiesen; sie ist bei klarem Himmel immer positiv, mit der Höhe der Atmosphäre zunehmend, im Winter, überhaupt bei niedrigerer Temperatur, stärker als im Sommer. Die Wolken, sowie Regen und Schnee, sind abwechselnd positiv und negativ, und zwar bei Nord- und Ostwinden mehr positiv, bei Süd- und Westwinden mehr negativ. Da die Wolken, aus wäßrigen Dünsten bestehend, die Elektricität nur unvollkommen leiten, können sie nicht auf einmal entladen werden, weshalb man oft eine Wolke mehreremale hintereinander blitzen sieht. Vielleicht erhalten auch die Wolken Elektricität von der Luft, welche in trockenem Zustande elektrisch geworden ist, indem eine durch Erwärmung ausgedehnte Luftmasse die Dämpfe sehr schnell kondensiert; vielleicht wirken auch Verteilung und Mitteilung von der Erde her. Manche nehmen an, die Luftelektricität sei durch Verdunstung entstanden; verdunstet nämlich Wasser in einer metallnen isolierten Schale, so zeigt sich das Gefäß und das zurückgebliebene Wasser negativ, weshalb die aufsteigenden Dünste positiv elektrisch sein müssen. Diese positive Elektricität zeigt sich vielleicht erst bei hinlänglicher Verdichtung des Dunstes zu Wolken in der Art wirksam, daß sie durch Verteilung auf der unter der Gewitterwolke liegenden Erde negative Elektricität hervorruft, worauf bei hinlänglicher Spannung der Elektricitäten und hinlänglicher Annäherung der Wolke zur Erde eine Entladung, der Blitz, entsteht. Die negative Elektricität mancher Wolken könnte wohl durch Verteilung der positiv elektrischen Wolken entstanden sein.

Franklins Versuche mit dem elektrischen Drachen. Um sich vor dem Blitze zu schützen ist die Hauptregel die, daß man die Nähe guter Leiter der Elektricität, Erhitzung des Körpers und mit Rauch und Dunst angefüllte Orte, im Freien außerdem noch die Nähe aller höheren Gegenstände meidet. — Das Feuer in den Küchen während eines nahen und starken Gewitters auszulöschen, ist wegen des Rauches sehr ratsam; daß Luftzug, der gewöhnlich vermieden wird, schädlich sei, ist durch die Erfahrung widerlegt. Es ist anzuraten, vor dem Gewitter die Fenster zu öffnen, um durch den entstandenen Luftzug die Dünste zu entfernen, und während des Gewitters ein Fenster offen zu lassen, um im Falle des Einschlagens die schädliche starke Komprimierung der Stubenluft zu verhindern. Das Läuten der Glocken ist durchaus unnütz, da (um was Sache des Aberglaubens ist nicht zu erwähnen) die durch die bewegten Glocken bewirkte Luftbewegung viel

zu unbedeutend ist, Gewitterwolken zu entfernen, was bis jetzt nur durch Abfeuern von Kanonen sehr unvollkommen gelungen ist; auch ist für die, welche die Glocken ziehen, offenbar Gefahr vorhanden, wie es in der That oft vorgekommen ist, daß Menschen, die das Läuten besorgten, aus leicht einzusehenden Gründen, vom Blitze getroffen worden sind. Die metallische Leitung des Blitzableiters darf nicht unterbrochen werden. Richmann aus Petersburg, welcher zur Untersuchung der Elektricität die Leitung unterbrochen hatte, wurde durch einen an dem Blitzableiter herunterfahrenden Wetterstrahl (6. August 1753) getötet. — Blitzröhren entstehen, wenn der Blitz in sandigen, oder andere schmelzbare Stoffe enthaltenden Boden einschlägt. — Luftelektroskope, Luftelektrometer.

2) Das Wetterleuchten ist auch elektrischer Natur, und zwar entweder ein ruhiges Ausströmen der Elektricität überladener Wolken, vergleichbar dem Ausströmen der Elektricität überladener Konduktoren, oder eine Beleuchtung der Wolken durch den Blitz eines unter unsrem Horizonte stattfindenden Gewitters, von welchem der großen Entfernung wegen der Donner nicht bis zu uns gelangen kann, oder endlich vielleicht auch ein Gewitter in hohen Regionen der Atmosphäre, wo der Donner wegen der sehr verdünnten Luft so schwach ist, daß er bei uns nicht gehört werden kann.

3) Die Wetterlichter (St. Elmsfeuer, St. Helenenfeuer, Kastor und Pollux) sind elektrische Lichterscheinungen, welche sich vor und während der Gewitter an den Spitzen der Turmkreuze, der Blitzableiter, der Schiffsmasten, an den Ohren von Pferden, selbst oft an Menschen, welche während eines Gewitters im Freien sind, besonders an den Haaren, als leuchtende Strahlenbüschel zeigen. Sie erinnern an das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen, und sind wohl ein solches Ausströmen der Erdelektricität nach der entgegengesetzten Luftelektricität.

4) Die Wasserhosen (Landhosen oder Erdtromben) sind Gewitterwolken, welche sich in Spitzen auf das Meer herablassen, und das Wasser in hohen Säulen heraufziehen, die sich mit Schrecken erregendem Zischen und Brausen fortbewegen, und alles, worauf sie stoßen, vernichten. (§ 192, II, 3).

5) Die Polarlichter (Nordlicht und Südlicht) sind in den Polargegenden sehr häufig, in geringeren Breiten weniger oft, meistens im Winter vorkommende, teils in großen, teils in geringen Höhen der Atmosphäre stattfindende farbige Lichterscheinungen, die oft den halben Himmel einnehmen, und wenn sie auch zuweilen stundenlang dauern, doch in Lichtstärke und Farbenglanz sich beständig ändern. Da die Magnetnadel vor und während eines Polarlichtes in Unruhe gerät, ferner eine durch Helligkeit und Glanz ausgezeichnete Stelle, die Krone, welche als der Hauptpunkt der Erscheinung angesehen werden muß, im magnetischen Meridian und so liegt, daß die frei schwebende Inklinationsnadel auf sie hinweist, da endlich sich die Polarlichter in der Nähe der magnetischen Pole der Erde häufig zeigen, muß man nach dem gegenwärtigen Stande der Physik annehmen, daß diese Erscheinungen elektrischer, wahrscheinlich magnetoelektrischer Natur sind. A. v. Humboldt nennt sie ein magnetisches Ungewitter. Starke Nordlichter wirken wie starke Gewitter störend ein auf die magneto-elektrischen Telegraphen.

II. Kontaktelektricität.

A. Fundamentalversuche.

214. 1) Wenn zwei isolierte verschiedenartige Metalle mit einander in Berührung kommen, und darauf getrennt werden, so zeigt das eine freie +, das andere freie — E. Das läßt sich mittelst recht eben geschliffener, kreisrunder Scheiben aus Zink und Kupfer, oder noch besser aus Zink und Silber, welche mit gläsernen Handhaben versehen sind, zeigen; das Zink erhält durch Berührung +, das Kupfer oder Silber — E, wie man sich mittelst eines Kondensators und Elektrometers nach § 212 überzeugen kann. Bei trockener Luft reichen zehn bis zwölf Berührungen schon hin, eine recht sichtbare Divergenz der Goldblättchen zu bewirken; dabei muß man aber nicht vergessen, nach der wechselseitigen Berührung der beiden Scheiben diejenige, welche mit dem Kondensator nicht in Berührung gebracht wird, immer ableitend zu berühren. Dieser Versuch heißt der Voltasche Fundamentalversuch, so wie das dabei gebrauchte Plattenpaar das Voltasche Plattenpaar. Alle durch Berührungselektricität erzeugten Erscheinungen heißen Galvanische, weil Galvani (1790) die ersten Erscheinungen der Art entdeckte, oder Voltasche, weil Volta (1795) zuerst erkannte, daß durch Berührung Elektricität entsteht, und so wird denn auch der Inbegriff aller durch Berührungselektricität hervorgebrachten Erscheinungen Galvanismus, Voltaismus, auch Galvano-Voltaismus genannt.

2) Durch Untersuchung der festen Körper in Bezug auf die durch ihre wechselseitige Berührung entstehende Elektricität ist die sogenannte elektrische Spannungsreihe entstanden. Es werden darin die Körper in einer solchen Reihe angegeben, daß jeder mit dem nächstfolgenden durch Berührung + und dieser — elektrisch wird, und zwar werden sie desto stärker elektrisch, je entfernter sie in dieser Reihe von einander stehen, weshalb auch in ihren Endgliedern die stärkste elektrische Spannung stattfindet. Diese Spannungsreihe ist nach Poggendorf folgende: (+) Zink, Kadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eisen, Stahl, Uran, Messing, Kupfer, Kupfernickel, Magneteisenstein, Kobalt, Wismut, Spießglanz, Arsenik, Chrom, Silber, Nickel, Quecksilber, Schwefelkies, Tellur, Gold, Bleiglanz, Platin, Kohle, Graphit, Braunstein (—). Wenn mehrere Metallplatten dieser Reihe übereinander geschichtet werden, z. B. Zink bis Kupfer, so ist die elektrische Spannung dieselbe, als wenn Zink und Kupfer sich unmittelbar berührten.

3) Daß auch durch Berührung fester und flüssiger Körper Elektricität entsteht, ist leicht zu beweisen, denn ein Zink- oder Kupferstäbchen in verdünnte Schwefel- oder Salpetersäure zum Teil getaucht, zeigt sich am hervorragenden Teile, mittelst des Elektrometers geprüft, negativ elektrisch. Ob ein Metall in einer verdünnten Säure — E

oder + E zeigt, hängt sowohl vom Metalle als von der Säure ab, kann also nur durch den Versuch bestimmt werden. In verdünnter Schwefelsäure z. B. werden Zink, Zinn, Blei, Eisen und Kupfer in abnehmender Stärke negativ, Zink hat also am meisten, Kupfer am wenigsten — E, während Platin, Gold und Kohle in abnehmender Stärke positiv elektrisch werden. Die elektrische Spannung zwischen einem Metalle und einer Säure scheint im allgemeinen um so größer zu sein, je mehr das Metall von der Flüssigkeit angegriffen wird.

Aloysius Galvani, Arzt und Professor der Anatomie zu Bologna 1737 bis 1798. — Galvanis Experiment mit den Froschschenkeln. — Alexander Volta, geb. 1745 zu Como, später in Pavia Professor der Physik, starb 1827. Man denkt sich die Elektricitätserregung beim Voltaschen Fundamentalversuche gewöhnlich so: Vor der Berührung sind beide Metalle im Zustande des elektrischen Gleichgewichtes (± E), d. h. jedes Metall hat an jeder Stelle beide Elektricitäten in gebundenem Zustande. Die Berührung hebt das Gleichgewicht auf, macht die Elektricitäten frei, die + E des Kupfers strömt nach dem Zink und vereinigt sich mit dessen + E, während die — E des Zinks nach dem Kupfer strömt, und sich mit dessen — E vereinigt; man nimmt also hiernach einen Strom positiver Elektricität vom negativen Metalle nach dem positiven, und einen Strom negativer Elektricität vom positiven Metalle nach dem negativen an.

215. Man teilt die Leiter der Elektricitäten ein in Leiter der ersten Klasse oder des ersten Ranges und in Leiter der zweiten Klasse oder des zweiten Ranges. Beide haben das gemeinschaftlich, daß sie die Elektricität leiten, wie schon ihr Name sagt, unterscheiden sich aber dadurch, daß jene geeigneter sind, aus sich durch Berührung Elektricität zu erregen, als diese. Zu jenen gehören die festen Leiter, insbesondere die Metalle und die Holzkohle, zu diesen die Flüssigkeiten, besonders Säuren, Salzauflösungen, Alkalien in Wasser aufgelöst und das Wasser. Weil die Kontaktelektricität nur durch Leiter erregt wird, heißen diese auch Erreger (Elektromotoren) und zwar die festen: Erreger der ersten, die flüssigen: Erreger der zweiten Klasse.

B. Dreigliedrige und viergliedrige einfache Ketten und Batterien.

216. Verbindet man zwei Erreger der ersten Klasse mit einem der zweiten, am besten zwei Metalle mit einer Flüssigkeit, so entsteht die gewöhnliche einfache Voltasche Kette oder das Voltasche Element. Die Wirksamkeit der Kette hängt ab, sowohl von der Verschiedenheit der Metalle, als auch von der Leitungsfähigkeit der Flüssigkeit und ihrem sonstigen chemischen Verhalten zu den Metallen. Die gewöhnlichsten Erreger sind Zink und Kupfer, und eine Salmiaklösung, oder besser mit einer Säure (etwa Schwefelsäure) versetztes Wasser, womit ein Filzscheibchen von der Größe der Metallplatten getränkt wird. Eine einfache Voltasche Kette heißt geschlossen, wenn die beiden Metalle durch einen Metalldraht verbunden werden; jede

nicht geschlossene Kette heißt eine offene. Die Bilder dieser beiden Ketten sind:

$\overset{\frown}{kfz}$ und kfz.

Bei der offenen Kette sind die Metalle nur mit der Flüssigkeit, bei der geschlossenen aber mit der Flüssigkeit und durch den Draht auch mit einander in Verbindung, daher muß in letzterer die Elektricität nicht blos vom Kontakte der Metalle mit einander, sondern auch mit der Flüssigkeit abgeleitet werden. Nach der gewöhnlichen Vorstellungsweise strömt hier die + E (welche die Richtung des galvanischen Stromes angiebt) vom Kupfer (k) durch den Draht zum Zink (z), und von diesem durch die Feuchtigkeit (f) zum Kupfer; die — E bewegt sich in entgegengesetzter Richtung.

Wird ein Zinkstäbchen neben einem Kupferstäbchen zum Teil in verdünnte Schwefelsäure gesteckt, oder zwischen eine Zink- und eine Kupferplatte ein feuchtes Filzläppchen gelegt, so zeigt das Zinkstäbchen und die Zinkplatte — E, das Kupferstäbchen und die Kupferplatte + E, und zwar die eine ebensoviel — E als die andere + E. Kontakttheorie und chemische Theorie.

217. 1) Die Galvanische oder richtiger Voltasche Säule oder Batterie, eine Verbindung vieler einfachen Ketten und deshalb auch eine zusammengesetzte Kette genannt, ist ein Instrument, durch welches Berührungselektricität in bedeutender Menge erzeugt werden kann. Dennoch wird sie kaum mehr gebraucht, weil schon durch das Trocknen der Filzläppchen ihre Wirksamkeit schnell abnimmt, und dann ganz aufhört. Die Voltasche Säule besteht aus 20, 50, 100 und noch mehr Plattenpaaren, meist aus Zink und Kupfer, die immer in derselben Ordnung, am besten zwischen Glasstäben, auf einander gelegt, und von einander durch in Salmiaklösung getauchte Filzscheiben getrennt werden. Die Voltasche Säule wird so aufgebaut:

→ → → → →
— z f k z f k . . . . z f k + oder:
←

← ← ← ← ←
+ k f z k f z . . . . . . k f z —
→

wobei k Kupfer, z Zink und f Filzläppchen bedeutet.

Die Endplatten der Säule heißen Pole, und zwar der eine Zinkpol der negative, Kupferpol der positive Pol. Dagegen nennt man Zink positives, und Kupfer negatives Metall, weil die + E innerhalb der Flüssigkeit sich vom Zink bewegt, im Drahte zum Zink.

Der Entdecker dieser Säule ist Volta, 1800.

Da das käufliche Zink meist unrein ist, muß es bei dieser, wie bei anderen Batterien amalgamiert werden. Das unreine aber amalgamierte Zink wird ebenso wenig angegriffen, als das reine Zink.

2) Die Voltasche Säule ist geschlossen oder offen, je nachdem die Metalle durch einen Draht verbunden sind oder nicht. Ist die

Säule isoliert, so hat sie in der Mitte einen Indifferenzpunkt, d. h. eine Stelle, die keine Elektricität zeigt. Von diesem Punkte an nimmt die freie Elektricität nach beiden Enden in arithmetischer Progression und zwar die — E nach dem Zinkpole, die + E nach dem Kupferpole zu. Ist die Säule nicht isoliert, so hat der mit der Erde in Verbindung stehende Pol keine Elektricität, die dem andern Pole zukommende Elektricität wächst dagegen von hier bis zu diesem zweiten Pole in arithmetischer Progression, und erreicht eine doppelt so große Intensität als im isolierten Zustande der Säule. Wird die Säule geschlossen, so wird sie entladen, und der galvanische Strom hat dieselbe Richtung wie in § 216.

Von der Größe der Platten scheint die Quantität, von ihrer Anzahl die Intensität der entwickelten Elektricität abzuhängen.

Die Stärke des elektrischen Stromes in der Säule wächst mit der Anzahl der Elemente, aber ihre Wirkung steht zu gleicher Zeit im umgekehrten Verhältnisse der Widerstände, welche sich ihm entgegenstellen. Heißt der von jedem einzelnen Element und seiner Flüssigkeit herrührende Widerstand e, der von dem Schließungsdraht mit seiner Länge im geraden und mit seinem Querschnitt im umgekehrten Verhältnis wachsende p, so ist die Wirkung der Säule, wenn E die erregende Kraft eines jeden der n Elemente derselben bezeichnet, durch folgenden das Ohmsche Gesetz enthaltenden Ausdruck gegeben:

$$\frac{n\,E}{n\,e + p}.$$

Dies Gesetz gilt auch für die Batterien der § 218 u. 219. Wenn die Leitungsfähigkeit des Kupfers mit 100 bezeichnet wird, ist nach Rieß die des Silbers 149, des Goldes 89, des Messings 28, des Eisens 18, des Platins 16, des Neusilbers 11, des Bleies 10.

218. Die trockene oder zambonische Säule besteht aus sehr vielen Scheibchen von Gold- und Silberpapier, von denen je zwei an der unbelegten Seite zusammengeleimt sind, in einen Glascylinder eingeschlossen und so zusammengepreßt, daß je zwei Scheibchen sich mit ihren Gold- und Silberseiten berühren. Das mit der Silberseite schließende Ende ist der negative, das andere der positive Pol. Die Feuchtigkeit des Papieres vertritt die Flüssigkeit.

Diese Säule erhöht die Empfindlichkeit des Bohnenbergerschen Elektroskops. Das an einer Kondensatorplatte befestigte Goldblättchen befindet sich zwischen den entgegengesetzten Polen einer zambonischen Säule; es zeigt + E, wenn es sich zum — Pol, — E wenn es sich zum + Pol bewegt.

Auch die in neuerer Zeit viel gebrauchten Tauchbatterien gehören zu den dreigliedrigen; als Erreger erster Klasse wendet man bei ihnen Zink und Kohle an, während die Flüssigkeit eine Auflösung von doppelt chromsaurem Kali in verdünnter Schwefelsäure ist. Die Zink- und Kohlenplatten aller Elemente sind an einer gezahnten Stange so befestigt, daß sie in die Flüssigkeit herabgelassen und aus ihr herausgehoben werden können. Diese Batterien sind für die Anwendung

sehr bequem, wenn sie auch an Wirksamkeit den folgenden viergliedrigen nicht gleich kommen.

219. 1) Die viergliedrigen Ketten oder Elemente bestehen aus zwei Elektromotoren erster, und zwei Elektromotoren zweiter Klasse. Von solchen Ketten sind besonders zu nennen die Ketten oder Elemente von Jakobi, Daniell, Grove und Bunsen.

a) Bei dem Jakobischen Element werden gebraucht Zink, Kupfer und etwa eine Salmiakauflösung oder Kupfervitriollösung (Schwefelsaure Kupferoxydlösung). In einem kupfernen Cylinder befindet sich ein hölzerner oder thönerner Hohlcylinder, unten mit ausgespannter Rindsblase geschlossen und auf Glasstäbchen ruhend, und in diesem eine auch auf solchen Stäbchen ruhende und oben mit Siegellack überzogene Zinkplatte; in den hölzernen oder thönernen Cylinder gießt man die Salmiakauflösung, in den kupfernen die Kupfervitriollösung.

b) Das Daniellsche Element, welches aus Zink, Kupfer, verdünnter Schwefelsäure und einer Kupfervitriollösung besteht, wird gewöhnlich so zusammengestellt, daß in ein Glas ein hohler Kupfercylinder, in diesen ein poröser Thoncylinder, und in diesen endlich ein massiver, amalgamierter Zinkcylinder zweckmäßig gestellt wird; zu Zink gießt man verdünnte Schwefelsäure, zum Kupfer Kupfervitriollösung.

c) Das Grovesche oder Zinkplatinaelement, welches an Wirksamkeit alle übrigen Elemente übertrifft, besteht aus amalgamiertem Zink, einem Platinablech, verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure. Sie wird wie das Daniellsche Element aufgebaut. In ein Glas wird ein Hohlcylinder aus Zink, in diesen ein poröser Thoncylinder, in diesen wieder das Platinablech gestellt. Die Salpetersäure wird in den Thoncylinder, die sehr verdünnte Schwefelsäure in das Glas, wieder zum Zink gegossen. Bei jedem dieser Elemente sind die heterogenen Metalle mit Klemmschrauben versehen.

d) In Bunsens Zinkkohlenelement nimmt die Kohle die Stelle des kostbaren Platina ein. In ein cylindrisches Glas wird ein hohler Zinkcylinder, und in ihn ein in seiner unteren Hälfte massiver, in seiner oberen Hälfte dagegen hohler Kohlencylinder gestellt. In den Kohlencylinder wird die mit kalkfreiem Sande gemischte Salpeter- oder Chromsäure, in das Glas (wieder zum Zink) verdünnte Schwefelsäure gegossen; oder man bringt innerhalb des hohlen Zinkcylinders eine poröse Thonzelle, und in diesen einen hohlen Kohlencylinder, wo dann die Schwefelsäure wieder zum Zink gegossen wird. Auch kann die Zusammensetzung so geschehen, daß in das Glas zuerst ein hohler Kohlencylinder, in diesen eine poröse Thonzelle, und in diese endlich ein Zinkkloben gebracht, und darauf wieder die Schwefelsäure zum Zink, die Salpetersäure zur Kohle gegossen wird. Um den Kohlencylinder ist ein genau anschließender Zinkring gelegt, um die Verbindung der beiden heterogenen festen Körper mittelst Metallstreifen und Klemmschrauben leicht bewirken zu können.

e) Zu den viergliedrigen Elementen gehört auch Schönbeins Element aus bloßem Eisen oder das Element aus aktivem und passivem Eisen, welches sich darauf gründet, daß Eisen, von sehr starker Salpetersäure oxydiert, wie Platina wirkt, also gegen gewöhnliches Eisen negativ elektrisch wird.

2) Aus Elementen von konstanter Wirkung werden Batterien von konstanter Wirkung zusammengesetzt; es giebt daher eine Grovesche- oder Zinkkohlenbatterie u. s. w. Elemente können aber so mit einander verbunden werden, daß sie eine Batterie oder ein vergrößertes Element darstellen. Im ersten Falle muß immer das positive Metall jedes Elements mit dem negativen Metalle des nächsten leitend verbunden werden; im zweiten muß man alle positiven Metalle mit einander, und ebenso alle negativen Metalle mit einander in leitende Verbindung setzen.

Bei der Groveschen Batterie ist auch der Zinkpol der negative, der Platinapol der positive. Die Richtung des galvanischen Stromes ist wie in § 216.

220. Die verschiedenen Wirkungen des elektrischen Stromes, welche man durch unzählige Versuche mit geschlossenen und nicht geschlossenen Elementen und Batterien gefunden hat, sind höchst mannigfaltig. Bei nicht geschlossenen Batterien kann man nur Bewegungserscheinungen beobachten, bei den geschlossenen dagegen viele Erscheinungen teils physikalischer Natur, insofern Licht, Wärme und Magnetismus erzeugt werden, teils chemischer Natur, insofern Zersetzungen und Zusammensetzungen von Körpern stattfinden, teils endlich physiologischer Natur, insofern Erschütterungen und Schläge in tierischen und menschlichen Körpern hervorgebracht werden.

Zu den gewöhnlichsten Versuchen gehören folgende:

1) Mechanische oder dynamische Wirkungen. Anziehen und Abstoßen leichter isolierter Korkkügelchen und dünner Metallstreifen; vom positiven Pole werden, wenn man ihn vom negativen trennt, Metallteilchen, Kohlenteilchen u. s. w. losgerissen, und zum negativen Pole übergeführt, so daß sich am positiven Pole eine Vertiefung, am negativen eine Erhöhung bildet. Hierzu gehören aber sehr starke Batterien.

2) Licht- und Wärmeerscheinungen. Berührt man mit einem isoliert gehaltenen, zugespitzten Poldrahte den andern oder dessen Pol, so sieht man einen lebhaften Funken, der bei größeren Batterien leicht brennbare Körper wie Knallgas, Phosphor, Schwefel, Blattgold u. a. m. entzündet. Die Lebhaftigkeit der Funken wird vermehrt, wenn die Drahtenden amalgamiert sind; es verbrennt dabei immer ein Teil des Quecksilbers. Schöne Funken sieht man auch, wenn der eine Poldraht in Quecksilber, welches sich in einem Glase befindet, gesteckt, und mit dem andern, isoliert gehaltenen, die Oberfläche des Quecksilbers berührt wird. — Die Batterie entwickelt Wärme, die so groß werden kann, daß durch sie Metalldrähte, welche die Pole verbinden, wenn sie die durch sie fortgeleitete Elektricität aufzunehmen nicht stark genug sind, zum Glühen, ja zum Schmelzen gebracht werden können. Solche glühende Drähte erwärmen Wasser, durch welches sie gezogen sind, und bringen kleine Mengen von einer Salzauflösung zum Sieden. Hildren schmolz Iridium, Horn, verbrannte Kohle mit einem dem Auge unerträglichen Lichte. — Mit einer Batterie von 185 Elementen beleuchtete schon 1849 Jakobi in Petersburg vom Admiralitätsturme aus drei große Straßen drei Stunden lang mit sehr hellem Lichte. Da das elektrische Licht das Gaslicht an Helligkeit bedeutend übertrifft, bedient man sich des ersteren

in neuerer Zeit häufiger zur Beleuchtung größerer Räume, z. B. der Bahnhöfe, besonders auch in dem Falle, wenn das Gaslicht nicht hell genug ist, z. B. bei Bauten, die auch in der Nacht fortgesetzt werden sollen. — Sind die Polenden Kohlenspitzen, so verbrennt die Kohle besonders am positiven Pole, wodurch der Zwischenraum zwischen den Spitzen immer größer wird, so daß man Apparate braucht, die die Spitzen einander wieder nähern; Jablochkowsche Kerzen, Differentiallampen von Siemens (§ 231, 3). Die Schwierigkeit, das elektrische Licht in viele einzelne Flammen zu teilen, ohne daß dadurch die Kosten bedeutend erhöht werden, hindert besonders die ausgedehntere Anwendung des elektrischen Lichtes. — Benutzung des glühenden Platinadrahtes zur Minensprengung unter Wasser, unter Eis, im Felsen, auch in der Chirurgie zum Abbrennen krankhafter Auswüchse. — Davy schmolz Quarz und Kalk. Wollastons Fingerhutapparat. —

3) Chemische Wirkungen. Die große Wirksamkeit der Voltaschen Säule beweisen unter andern: a) die Zersetzung des Wassers in seine beiden Bestandteile: Sauerstoff- und Wasserstoffgas, oder Oxygen- (O) und Hydrooxygengas (H), und zwar in der Art, daß sich O am positiven, H am negativen Pole entwickelt. Hierbei ist nicht gleichgültig, aus welchem Metalle die Drähte sind; sind sie Gold- oder Platinadrähte, so sammeln sich wirklich beide Gase an ihren Polen an; sind sie aber Drähte aus Eisen oder Kupfer, also aus leicht oxydierbaren, d. h. solchen Metallen, die sich leicht mit O verbinden, so sammelt sich das H an, während das O das Metall sogleich oxydiert. b) Die Zersetzung der Erden, Alkalien (Davy 1807), Säuren und Salze, wovon im folgenden Abschnitte.

Der positive Poldraht wirkt wie eine Säure, z. B. färbt er die Lakmustinktur rot; der negative wirkt dagegen wie ein Alkali, z. B. er färbt Veilchensaft grün, und der vom positiven Poldrahte geröteten Lakmustinktur giebt er die ursprüngliche Farbe wieder.

Auch die Flüssigkeit zwischen den einzelnen Plattenpaaren erleidet eine Zersetzung; die Zinkplatten oxydieren daher und nehmen eine weiße Rinde an, während die Kupferplatten durch Schwefelwasserstoffgas geschwärzt werden, weshalb sie von Zeit zu Zeit mit nassem Sande gereinigt werden müssen. Dachplatten von Zink werden, wenn sie mit eisernen oder kupfernen Nägeln angeschlagen werden, leicht zerstört, dazu werden besser Nägel aus einer Komposition von Zink, Blei und Antimon gebraucht. Um die kupfernen Beschläge vor dem Oxydieren, also vor Zerstörung zu bewahren, werden nach Davy einige Zinkplatten aus Zink oder Eisen angebracht; Zink oder Eisen, die positiven Metalle, werden dann allein verzehrt, und können leicht ersetzt werden; ebenso schützt man Nähnadeln und andere Stahlwaren vor dem Roste, wenn man ein Stückchen Zink dazulegt.

Auf der chemischen Wirkung der Kette beruht die Vergoldung, Versilberung u. s. w., der Metalle auf nassem Wege und die Galvanoplastik (Elektrotypie — 1838 Jakobi — Spencer) oder das Verfahren auf galvanischem Wege durch Niederschlagung des Kupfers aus Kupfervitriollösungen Medaillen, Münzen, Gipsabdrücke, Holzschnitte u. s. w. in Kupfer auf das genaueste abzuformen. Man gießt über die Münze Rosesches Metall, oder eine Mischung aus Wachs und Gips, oder aus Wachs und Stearin, und giebt dem so erlangten vertieften Abdrucke eine leitende Oberfläche durch Überpinselung mit Versilberungspulver oder mit fein geschlemmtem Graphit. Dann gießt man verdünnte Schwefelsäure in ein Glas, und stellt in diese eine poröse Thonzelle mit gesättigter Kupfervitriollösung. In die Schwefelsäure senkt man ferner eine Zinkplatte ein, und in die Kupfervitriollösung den Abdruck mit leitender Oberfläche. Bringt man diese dann durch einen Draht mit dem Zink in Verbindung, so schlägt sich auf ihr das Kupfer in unendlich kleinen, so dicht an einander gefügten Krystallen nieder, daß dieser Kupferüberzug ein zusammenhängendes Ganze bildet, und nach mehreren Tagen abgenommen das vollkommenste Abbild des Originals giebt. Es muß dabei immer die Schwefelsäure stark verdünnt sein, die Kupfervitriollösung durch Stücke von Kupfervitriol gesättigt erhalten, und die Seite des Abdrucks, auf welcher sich kein Niederschlag bilden soll, so wie der

Draht, so weit er sich im Kupfervitriol befindet, mit Ausnahme des den Abdruck berührenden Endes, mit Wachs überzogen sein. Benutzung der Galvanoplastik zur Erzeugung der Kupferdruckplatten, der Matrizen für Buchdrucktypen. Sogar von den Daguerotypien (§ 179) kann man galvanoplastische Abdrücke nehmen, und so mittelst Kupferdruck Daguerotypien zu Tausenden naturgetreu vervielfältigen.

Derselbe Apparat ist zum Vergolden der Metalle: Silber, Messing, Eisen brauchbar, wenn man statt der Kupfervitriollösung eine Auflösung von neutralem Goldchlorid nimmt. Der zu vergoldende Gegenstand kommt in diese Auflösung, das Zink in die verdünnte Schwefelsäure, und beide werden durch einen Kupfer- oder Silberdraht mit einander verbunden. Auf ähnliche Weise lassen sich Metalle versilbern oder verplatinieren, wenn man sich einer Silber- oder Platinalösung statt der Goldlösung bedient.

Faraday nennt die durch die Elektricität zersetzbaren Stoffe Elektrolyte, ihre Bestandteile Jonen, den Akt der Zersetzung Elektrolysierung. Die Pole der Schließungsdrähte, welche mit der zu elektrolysierenden Flüssigkeit in Verbindung stehen, heißen Elektroden, von denen er den positiven Anode und den negativen Kathode nennt. Anion (negativ) heißt jedes Jon, welches sich zur Anode, dagegen Kation (positiv) jedes Jon, welches sich zur Kathode begiebt.

4) Physiologische Wirkungen. Diese werden durch rasch auf einander folgendes Öffnen und Schließen der Kette sehr gesteigert. Berührt man den einen Pol mit der einen, den anderen mit der anderen Hand, so empfindet man im Augenblicke der Berührung eine Erschütterung, die aber weniger ein plötzlicher Stoß, wie bei der Leidner Flasche, sondern ein an Stärke abnehmendes, und erst wieder im Augenblicke des Öffnens der Kette zunehmendes Ziehen ist, welches so lange dauert, als die Verbindung dauert. Da die Haut ein schlechter Leiter ist, kann die Wirkung dadurch erhöht werden, daß man die Hände mit gesäuertem Wasser befeuchtet, und noch mehr dadurch, daß man in die befeuchteten Hände Kupferplatten nimmt, und mit ihnen die Pole berührt. Mehrere Personen, welche sich mit nassen Händen anfassen, können die Batterie wie eine Leidner Flasche entladen. Laden einer Leidner Flasche, indem die innere Belegung mit der einen, die äußere Belegung mit dem andern Pole leitend verbunden wird. — Berührt man den einen Pol mit der Hand, den andern mit der Zunge, so hat man auch schon bei schwachen Strömen eine Geschmacksempfindung und zwar am + Pol eine säuerliche, am — Pol eine laugenhafte. — Eine augenblickliche Lichterscheinung hat man bei der Entladung mittelst eines benetzten Teiles der Stirn und der Hand. — Volta empfand auch ein Geräusch, wenn er die Entladung durch die beiden Ohren leitete, ein Versuch, bei dem nur sehr schwache Ströme gebraucht werden dürfen. — Ein Blutegel auf eine Kupferplatte, die auf einer Zinkplatte ruht, gelegt, fährt wie erschrocken zurück, so oft er die letztere berührt. Die Empfindlichkeit der Amphibien, Fische und Insekten nach dem Tode ist größer, als die der warmblütigen Tiere. — Versuche mit Gehängten. — Neefs Blitzrad wird zur Stromunterbrechung gebraucht; diese kann auch weniger bequem durch eine gewöhnliche Feile bewirkt werden.

5) Die Drähte, durch welche man Batterien schließt, werden magnetisch, wie schon ihre Einwirkung auf die Magnetnadel beweist. Diese Entdeckung hat zu zahlreichen Resultaten geführt, von denen die vorzüglichsten in den folgenden Paragraphen abgehandelt werden.

C. Elektromagnetismus.

221. Der dänische Naturforscher Örsted entdeckte 1820, daß Metalldrähte magnetische Erscheinungen zeigen, so lange sie sich in der Entladungskette der Voltaschen Säule befinden. Diese durch Elektricität hervorgebrachten Erscheinungen heißen elektromagnetische, so wie

der Inbegriff derselben Elektromagnetismus. Örsteds erster Versuch bestand darin, daß er über und unter die ruhende Deklinationsnadel den Schließungsdraht einer Voltaschen Säule horizontal zog, und dabei bemerkte, daß hierdurch die Magnetnadel aus ihrer natürlichen, ihr durch den Magnetismus zugewiesenen Lage (§ 200) gebracht wurde, indem sie östlich oder westlich abwich, aus welcher magnetischen Einwirkung des Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel er den Magnetismus desselben folgerte. Bald wurde Örsteds Versuch vielfältig wiederholt und dadurch erweitert, daß dem Leitungsdrahte alle möglichen Lagen in Bezug auf die Magnetnadel gegeben wurden. Die Ablenkung der Magnetnadel kann nach folgender Regel von Gilbert sicher angegeben werden:

„Man denke sich einen Schwimmer der in der Richtung des (positiven) Stromes schwimmt, so daß der Strom in die Füße ein- und durch den Kopf austritt, und dabei die Nadel ansieht. Ihr Nordpol wird dann aus dem magnetischen Meridian immer nach der Seite hin abgelenkt, auf welcher der Schwimmer seinen linken Arm hat.“

Wir betrachten hiernach zunächst den horizontalen Verbindungsdraht in seinen vier Hauptlagen zu der ruhenden Magnetnadel, nämlich: genau über und unter ihr in dem magnetischen Meridian, und zu beiden Seiten der Magnetnadel in derselben Horizontalebene. Ist nun das Nordende des horizontalen Drahtes mit dem negativen, das Südende mit dem positiven Pole einer Batterie leitend verbunden, so sind die Bewegungen der Magnetnadel folgende: Ist der Leitungsdraht

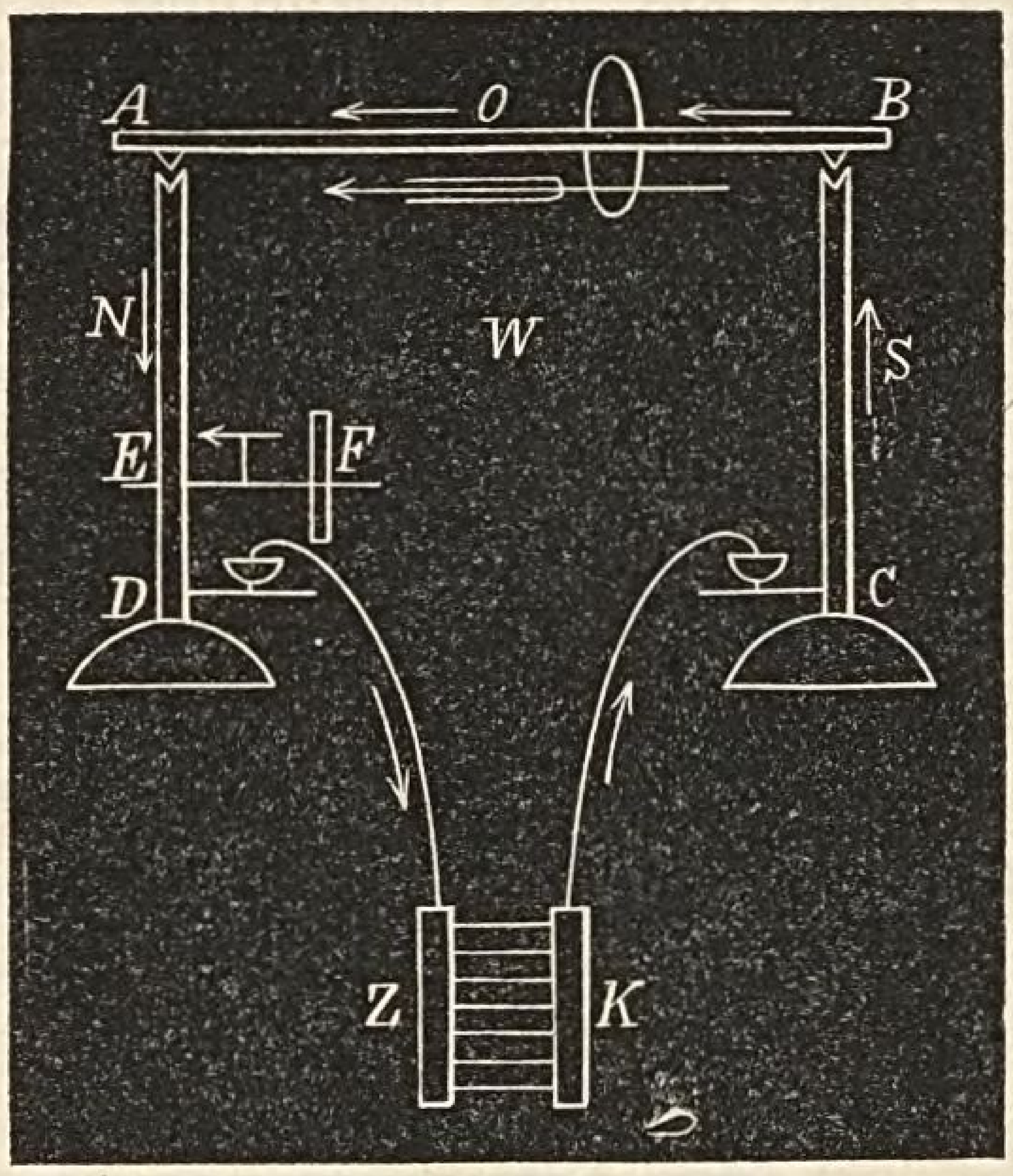
über der Magnetnadel, so weicht der Nordpol nach Westen ab;
unter der Magnetnadel, so weicht der Nordpol nach Osten ab;
auf der Ostseite, so erfolgt eine Hebung des Nordpols;
auf der Westseite, so erfolgt eine Senkung des Nordpols.

Wird bei diesem Versuche das Nordende des Verbindungsdrahtes mit dem positiven, das Südende mit dem negativen Pole einer Batterie verbunden, so wird die westliche Abweichung des Nordpoles zu einer östlichen, die östliche zu einer westlichen, die Hebung zur Senkung, die Senkung zur Hebung.

222. 1) Einen zweckmäßigen elektromagnetischen Apparat, nicht nur zur Untersuchung der Einwirkung des horizontalen, sondern auch des vertikalen Leitungsdrahtes (§ 224) auf die Magnetnadel, giebt Figur 128 in seinen Hauptteilen an. Er besteht aus zwei vertikalen 471 mm langen Leitern auf Bleifüßen und mit Quecksilbernäpfchen versehen, einem horizontalen 785 mm langen Leiter mit einer beweglichen Holzscheibe, in welcher sich eine 209 mm lange Magnetnadel mittelst einer Gabel anbringen läßt, und aus einer beweglichen Holzscheibe an dem einen senkrechten Leiter, zu welcher eine 105 mm lange Balkennadel und eine Federklemme mit einem verschiebbaren Magnetstäbchen gehört. Denken wir uns nun die Näpfchen mit einer Batterie so verbunden, wie es die Zeichnung angiebt, so geht der Strom nach (§ 217) in in CB herauf, in BA von B nach A, also von Süden nach Norden,

in AD also herab, und das Verhalten der Magnetnadel auf den verschiedenen Seiten des horizontalen Leitungsdrahtes, an dessen Südende wir uns stehend denken, ist nun nach der Gilbertschen Regel:

Figur 128.



unter dem Drahte weicht der Nordpol nach Westen ab, links von demselben nach oben, über demselben nach Osten, rechts von demselben nach unten ab.

Schon in diesen Abweichungen ist eine Rotation der Magnetnadel um den festen Leitungsdraht angedeutet, und zwar von der Art, daß sie unter ihm von Osten nach Westen, also mit einer senkrecht gestellten Uhr, die ihr Zifferblatt nach Süden gerichtet hat, verglichen, in der Richtung der Bewegung der Zeiger rotiert; auch ist die Folgerung leicht zu machen, daß der Leitungsdraht um den Magneten, wenn jener beweglich und dieser festgemacht werden könnte, in entgegengesetzter Richtung rotieren müßte. Die Rotation der Magnetnadel kann nur deshalb nicht stattfinden, weil sie durch ihre Unterstützung im Schwerpunkt festgehalten wird, und weil beide Hälften nach entgegengesetzter Seite bewegt werden; nach Beseitigung dieser Hindernisse tritt auch in der That eine Rotation ein (§ 224). Zugleich zeigen diese Abweichungen, daß der Leitungsdraht auf eine andere Weise als der gewöhnliche Stahlmagnet magnetisch wird. Da nämlich den Nordpol nur Nordmagnetismus und den Südpol nur Südmagnetismus abstoßen kann, so müssen wir annehmen, daß bei so einem magnetisch gewordenen Drahte der Nordmagnetismus rings herum nach der einen Richtung, und der Südmagnetismus ebenfalls rings herum nach der entgegengesetzten Richtung wirksam ist.

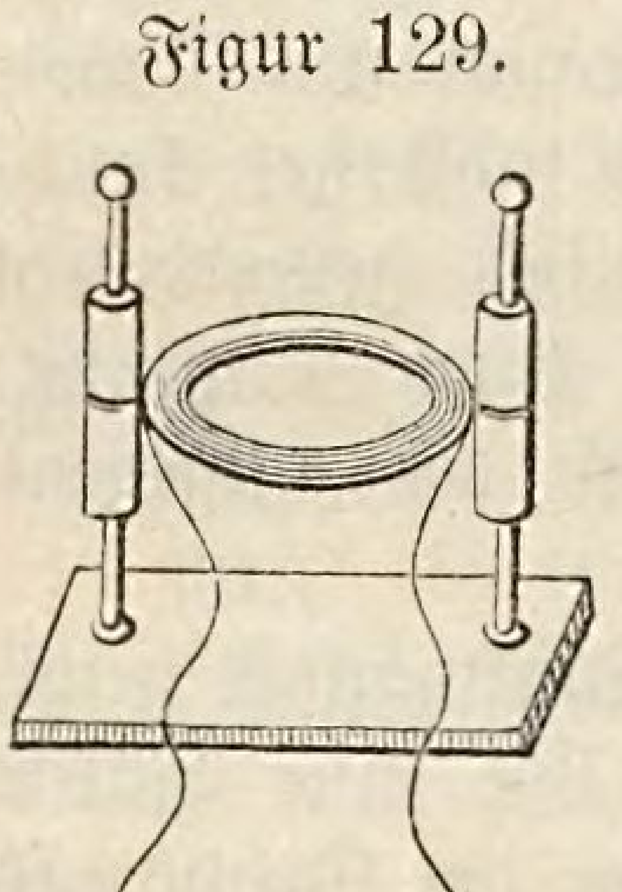
Während sich also ein Stahlmagnet als Longitudinalmagnet zeigt, so daß eine transversale Teilung stattfindet, indem die eine Hälfte nordpolarisch, die andere südpolarisch ist, zeigt sich hier der Draht als Transversalmagnet, wobei man aber nicht an eine nord- oder südpolarische Hälfte, durch longitudinale Teilung entstanden, denken, sondern die Vorstellung festhalten muß, daß es ein Magnetismus im Kreise um den Draht, ein Cirkularmagnetismus ist, indem jeder Punkt nach der einen Seite nordpolarisch, nach der entgegengesetzten südpolarisch wirkt.

Giebt man nun dem Strome auf irgend eine Art eine entgegengesetzte Richtung, so werden dadurch die Abweichungen der Nadel in jeder Lage entgegengesetzt, woraus wir folgern, daß der Draht auf

entgegengesetzte Weise magnetisch geworden ist. Die Seite jedes Punktes, die früher nordpolarisch war, ist jetzt südpolarisch, und umgekehrt. — Welche Richtung aber auch der Strom haben mag, immer hat er das Bestreben, die Magnetnadel senkrecht auf seine Richtung zu stellen, was ihm aber nur bei bedeutender Stärke gelingen kann, da die Nadel außer seiner Einwirkung gleichzeitig dem Erdmagnetismus unterworfen ist, weshalb ihre Abweichung der Mittelkraft aus beiden entsprechen muß, wenn nicht etwa die Einwirkung des Erdmagnetismus gegen die des Stromes verschwindend klein ist. Um darzustellen, welche Wirkung der galvanische Strom allein auf die Magnetnadel ausübt, muß man sich bei dem Versuche einer astatischen Nadel (§ 202, 2) bedienen, weil bei dieser die Einwirkung des Erdmagnetismus aufgehoben ist.

2) Da ein elektrischer Strom in dem Verbindungsdrahte über der Magnetnadel und ein anderer unter derselben in derselben Richtung entgegengesetzte Abweichungen bewirken, so ist einleuchtend, daß die Nadel keine Abweichung zeigen kann, wenn von zwei gleich starken Strömen in derselben Richtung und Entfernung der eine über und der andere unter ihr, überhaupt wenn sie auf entgegengesetzten Seiten stattfinden; da aber ein Strom über und der andere unter der Nadel, jedoch in entgegengesetzter Richtung, gleiche Abweichung bewirken, so folgt daraus, daß solche Ströme sich wechselseitig in ihrer Wirkung unterstützen, also die Abweichung vergrößern. Geht daher ein langer Leitungsdraht in vertikaler Ebene gewunden, um die Magnetnadel, so führen dessen obere und untere Teile den elektrischen Strom nach entgegengesetzten Richtungen, bewirken daher gleiche Abweichung, weshalb die Totalabweichung mit der Zahl der Windungen zunehmen muß. Hierauf gründet sich Schweigers oder Poggendorfs Multiplikator, (Figur 129) ein sehr wichtiges Instrument, da es zur Entdeckung der allerschwächsten Ströme dient, ein wahres Mikroelektrometer. Auch ist dies Instrument für die Aufstellung der elektrischen Spannungsreihe von großer Wichtigkeit, wobei die kleinsten Stückchen und Splitterchen der Körper, zu einem voltaschen Element verbunden, brauchbar sind. Die Abweichungen werden mit den bekannten Abweichungen der Zinkkupferkette verglichen, und dadurch bestimmt, ob der Körper + oder — lektrisch ist. Bringt man bei der Magnetnadel eine Kreisteilung an, um die Größe ihrer Ableitung bestimmen zu können, so hat man ein Galvanometer.

Figur 129.



Bei Nobilis sehr empfindlichem Multiplikator wird statt einer einfachen Nadel eine astatische Doppelnadel (§ 202) angewendet, so daß die eine Nadel innerhalb der Windungen, die andere aber über den oberen Teilen derselben sich befindet; beide Nadeln erhalten gleiche Bewegungen und die Einwirkungen des Erdmagnetismus sind aufgehoben. Häufig erhalten die Windungen die Form der Ziffer acht, und die Nadeln bewegen sich in den zwei Ringen derselben. Zur Messung stärkerer Ströme dient die Tangentenboussole, bei

welcher sich eine Magnetnadel mit ihrem Mittelpunkte in dem Mittelpunkte eines senkrechten, kreisförmig gestalteten Kupferstreifens befindet. Die Stärke des Stromes ist der Tangente des Ablenkungswinkels proportional.

3) Zur Umkehrung der Richtung des Stromes ist wohl der Ruhmkorffsche Stromwender der einfachste und bequemste Apparat. Eine Walze von Horngummi ist um zwei Stahlzapfen auf Messinglagern mittelst eines Handgriffs drehbar. Die Walze ist in vier gleiche Teile geteilt, und auf zwei einander gegenüberliegenden Teilen sind Messingbleche befestigt, von denen jedes mit einem Stahlzapfen leitend verbunden ist. Die beiden Messinglager werden mit den Enden des Drahtes verbunden, durch den der Strom gehen soll. Auf der Walze schleifen zwei Federn von Messing, die mit den Polen einer galvanischen Batterie durch Klemmschrauben verbunden sind. Berühren die Messingfedern die Messingbleche, so geht der Strom durch die Federn und Bleche nach den Stahlzapfen und Messinglagern, und von da durch den Draht. Dreht man die Walze um 90°, so berühren die Federn das Horngummi, der Strom ist also unterbrochen; dreht man die Walze um weitere 90°, so berühren die Federn wieder die Bleche, der Strom ist hergestellt, durchläuft nun aber den Draht in entgegengesetzter Richtung, weil die Zapfen, mit denen die Bleche jetzt in Verbindung stehen, verwechselt sind.

223. Versuche mit solchen Schließungsdrähten, deren Verhalten in dreifacher Beziehung, nämlich gegen gewöhnliche Magnete, gegen einander und gegen den Erdmagnetismus untersucht worden ist, ergeben folgende Resultate:

1) Es ist gleichgültig, aus welchem Metalle diese Drähte bestehen und wie sie geformt sind; die Ablenkungen, Hebungen und Senkungen erfolgen auf dieselbe Art (§ 221).

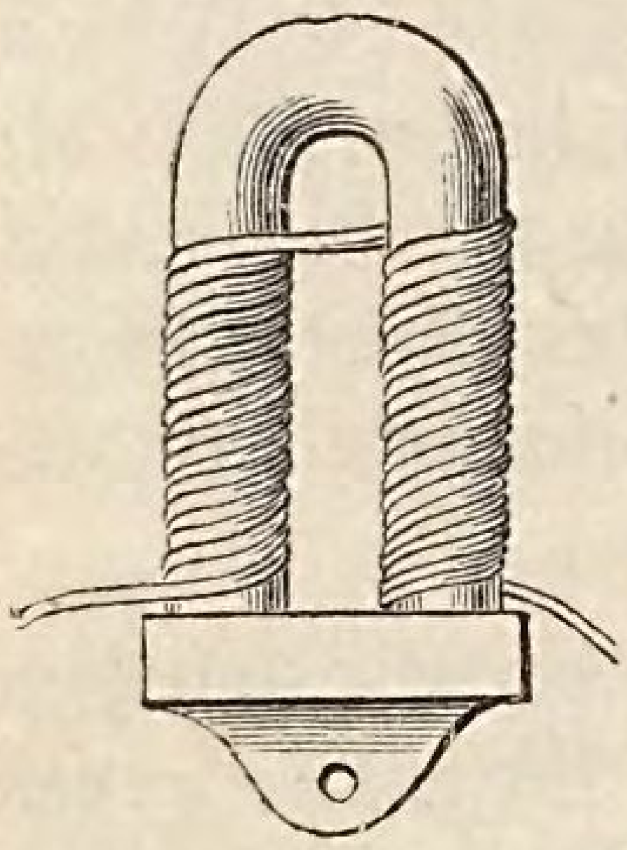
2) Diese elektrischen Leitungsdrähte (Rheophoren) ziehen Eisenfeilspäne an und halten sie fest, besonders stark, wenn sie spiralförmig gewunden sind. Die Eisenteilchen bilden dabei Ringe um den Leitungsdraht.

Wird eine in einer Ebene gewundene Spirale aus Kupferdraht, die eine Batterie schließt, mit Papier bedeckt, und dieses mit Eisenfeilspänen bestreut, so ordnen sich diese zu einer schönen elektromagnetischen Figur (§ 198, 1) über den Windungen der Spirale, wobei die zu den Windungen senkrechte Lage der aus den Eisenfeilspänen gebildeten Fäden deutlich sichtbar wird.

3) Solche Leitungsdrähte, namentlich wenn sie schraubenförmig gewunden sind, erregen, wiewohl sie den Magnetismus selbst nur vorübergehend, nämlich so lange der Strom durch sie hindurchgeht, besitzen, in den Stahlnadeln bleibenden Magnetismus. Bei den geradlinigen Drähten legt man die Stahlnadel querüber, bei den spiralförmig gewundenen, Cylinder- oder Schraubendrähte (Solenoide) genannt, schiebt man sie, gewöhnlich mit einer Glasröhre umgeben, in den Raum zwischen die Windungen, wodurch sie in Bezug auf diese auch quer zu liegen kommt und gleichzeitig viele Stellen des Drahtes auf sie wirken.

Wird in einen Schraubendraht ein etwas längeres Stäbchen von weichem Eisen gebracht, so wird dieses bei der Schließung der Kette sogleich magnetisch; die Eisenfeilspäne, welche die hervorragenden Enden festhalten, fallen ab, sobald mittelst des Stromwenders der Strom umgelegt wird, werden aber sofort wieder angezogen, sobald die Umlegung geschehen ist. Die Untersuchung des Eisenstäbchens mittelst der Magnetnadel zeigt, daß bei der Umlegung seine Pole sich umkehrten; bei rechts gewundenen Schraubendrähten, deren Windungen wie die eines Korkziehers laufen, erhält das Stäbchen den Südpol an demjenigen Ende, wo der Strom eintritt, bei den links gewundenen dagegen, wo er austritt, was schon aus der Gilbertschen Regel (§ 221) folgt, indem der Stab den Nordpol an demjenigen Ende erhalten muß, nach welchem hin der Nordpol einer Magnetnadel unter oder über den Windungen der Spirale abweichen würde, da auch nach dieser Richtung der Nordmagnetismus des Leitungsdrahtes den Nordmagnetismus des Stabes abstoßen muß. Bei der Umlegung des Stromes wird der Schraubendraht für einen Augenblick unelektrisch, das Stäbchen unmagnetisch, die Eisenfeilspäne müssen also abfallen.

Figur 130.



Am überraschendsten geschieht die fast augenblickliche Verwandelung des Eisens in einen sehr kräftigen Magneten, wenn ein Hufeisen von weichem Eisen mit einem starken, durch Seide hinlänglich isolierten Kupferdrahte umwunden wird, dessen Enden an den Füßen des Hufeisens mit einer kräftigen Batterie leitend verbunden werden können. Der nach dieser Verbindung angelegte Anker eines Elektromagneten (Fig. 130), trägt unter Umständen viele Centner. Wird der Strom umgekehrt, so fällt das Gewicht ab; ist es aber mäßig groß und wird dafür gesorgt, daß es nicht zu tief herabfällt, so kann es bei fortgesetzter Wiederherstellung und Unterbrechung des Stromes zu einer Bewegung zwischen dem Magneten und der Unterlage gezwungen werden.

Die Tragkraft eines Elektromagneten ist desto größer, je stärker der elektrische Strom, je größer die Zahl der Umwindungen, je reiner, weicher und homogener das Eisen ist; aber auch die Form ist von Einfluß, wie Joules Elektromagnet beweist, welcher die Form eines hohlen Cylinders hat, von welchem ein Stück parallel mit der Achse abgeschnitten ist und als Anker dient, während um den andern größern Teil längs der Länge die Windungen gehen. Ist der Hohlcylinder längs der Achse geteilt, und beide Hälften mit Drahtwindungen versehen, so läßt sich die Tragkraft eines solchen cylindrischen Magneten außerordentlich steigern. Die Tragkraft jedes Elektromagneten kann aber nur bis zu einem gewissen Punkte gestärkt werden, den man den Sättigungspunkt nennt.

Um Stahlmagnete, die man im Gegensatze zu den Elektromagneten auch Dauermagnete nennt, von bedeutender Stärke durch den galvanischen Strom zu erzeugen, bedient man sich nach Elias einer Drahtrolle, welche aus etwa 8 m langem und 3 mm dickem, mit Seide umsponnenem Kupferdrahte so gewunden ist, daß sie etwa 26 mm Höhe und 39 mm inneren Durchmesser hat. Nachdem die Drahtenden mit einer kräftigen Batterie in Verbindung gesetzt sind, wird der Stab durch die Rolle gesteckt, darauf bis an die Enden hin und her bewegt, zuletzt mit seiner Mitte in der Rolle in Ruhe versetzt, und der Strom unterbrochen; der Stab zeigt sich dann stark magnetisch. Die Annahme des Magnetismus wird befördert, wenn man die Enden der geraden Stäbe mit Stücken weichen Eisens, die hufeisenförmigen aber mit Ankern versieht (§ 199, 1). — Von Elektromagneten wird eine wichtige Anwendung bei den Zeiger- und Drucktelegraphen, so wie beim Betriebe von Maschinen gemacht (§ 225).

4) Diese magnetisch gewordenen Leitungsdrähte sind auf Nadeln aus andern Metallen als Eisen, wie von Silber und Kupfer, ohne Wirkung.

5) Sind solche Leitungsdrähte beweglich eingerichtet, und laufen sie parallel, so ziehen sie einander an, wenn sie dieselbe, stoßen einander ab, wenn sie entgegengesetzte Richtung haben. Ebenso ziehen zwei nach demselben Punkte, oder von demselben sich bewegende Ströme einander an; zwei Ströme aber, von denen der eine sich nach, der andere sich von demselben Punkte bewegen, stoßen einander ab.

Wird eine Spirale von feinem, recht elastischem Drahte aufgehangen, ihr unteres mit einem kleinen spitz zulaufenden Gewichtchen versehenes Ende in Quecksilber gebracht, und hierauf das obere Ende der Spirale mit dem einen, das Quecksilber mit dem andern Pole einer Batterie verbunden, so sieht man die Spirale abwechselnd sich heben und senken. Die in der Spirale parallel gerichteten Ströme verkürzen dieselbe, das Gewicht taucht also aus dem Quecksilber. und der Strom wird unterbrochen; hierauf verlängert sich die Spirale wieder durch die Schwere, bis das Gewicht das Quecksilber berührt u. s. w.

6) Nicht nur zwei elektrische Leitungsdrähte wirken auf einander anziehend und abstoßend wie zwei Magnete, sondern auch ein Leitungsdraht und ein Magnet.

7) Ein sehr leicht beweglicher, in Form eines Kreises oder Quadrats gebogener Leitungsdraht wird zweckmäßig aufgehangen, durch den Einfluß des Erdmagnetismus in die Richtung von Osten nach Westen so gestellt, daß seine Ebene auf der des magnetischen Meridians senkrecht steht, so daß also eine im Mittelpunkte des Drahtes auf dessen Ebene senkrechte Linie die Richtung der Deklinationsnadel hat; der Strom der Elektricität geht dabei in der unteren Hälfte des Kreises von Osten nach Westen, er ist also auf der Westseite des Drahtes aufsteigend, auf der Ostseite niedersteigend. Da das Solenoid nur ein System paralleler Kreise ist, so wird dieses durch die Einwirkung des Erdmagnetismus sich so stellen, daß seine Achse die Richtung der Deklinationsnadel annimmt, also von Norden nach Süden gerichtet ist. Da in den sämmtlichen Windungen der untere elektrische Strom von Osten nach Westen geht, so wird dasjenige Ende des Schraubendrahtes Nordpol sein, in welchem, wenn man vor ihm steht, der aufsteigende Strom rechts liegt; das andere Ende ist Südpol. Die Regel läßt sich auch so fassen: Südpol ist dasjenige Ende, an welchem sich die Ströme bewegen wie der Zeiger einer aufrecht stehenden Uhr, deren Zifferblatt wir ansehen, Nordpol das andere Ende.

Ein solches Solenoid läßt sich auf eine durch seinen Schwerpunkt gehende horizontale Achse so aufstellen, daß es die magnetische Inklination zeigt, d. h. sich wie eine Inklinationsnadel (§ 200, 3) stellt; auch läßt es sich mittelst eines Magneten durch Anziehung und Abstoßung in Bewegung setzen, und zwei Solenoide zeigen die Anziehung ungleichnamiger und die Abstoßung gleichnamiger Pole. — Ein Eisenstab, welcher in ein im magnetischen Meridian stehendes Solenoid gelegt wird, wird an dem nach Norden gerichteten Ende nordmagnetisch werden (§ 223, 3). — Die Magnetnadel läßt sich als ein Solenoid betrachten. Nach Ampère ist sie ein Körper, dessen kleinste Teile von elektrischen Strömen in auf ihrer Achse senkrechten Ebenen umkreist werden; auch hier gehen die Ströme, wenn die Nadel im magnetischen Meridian ruht, an der unteren Seite von O. nach W., an der oberen von W. nach O. — Auch die Erde erhält nach dieser Ansicht ihren Magnetismus von elektrischen Strömen, welche, da die Erde in

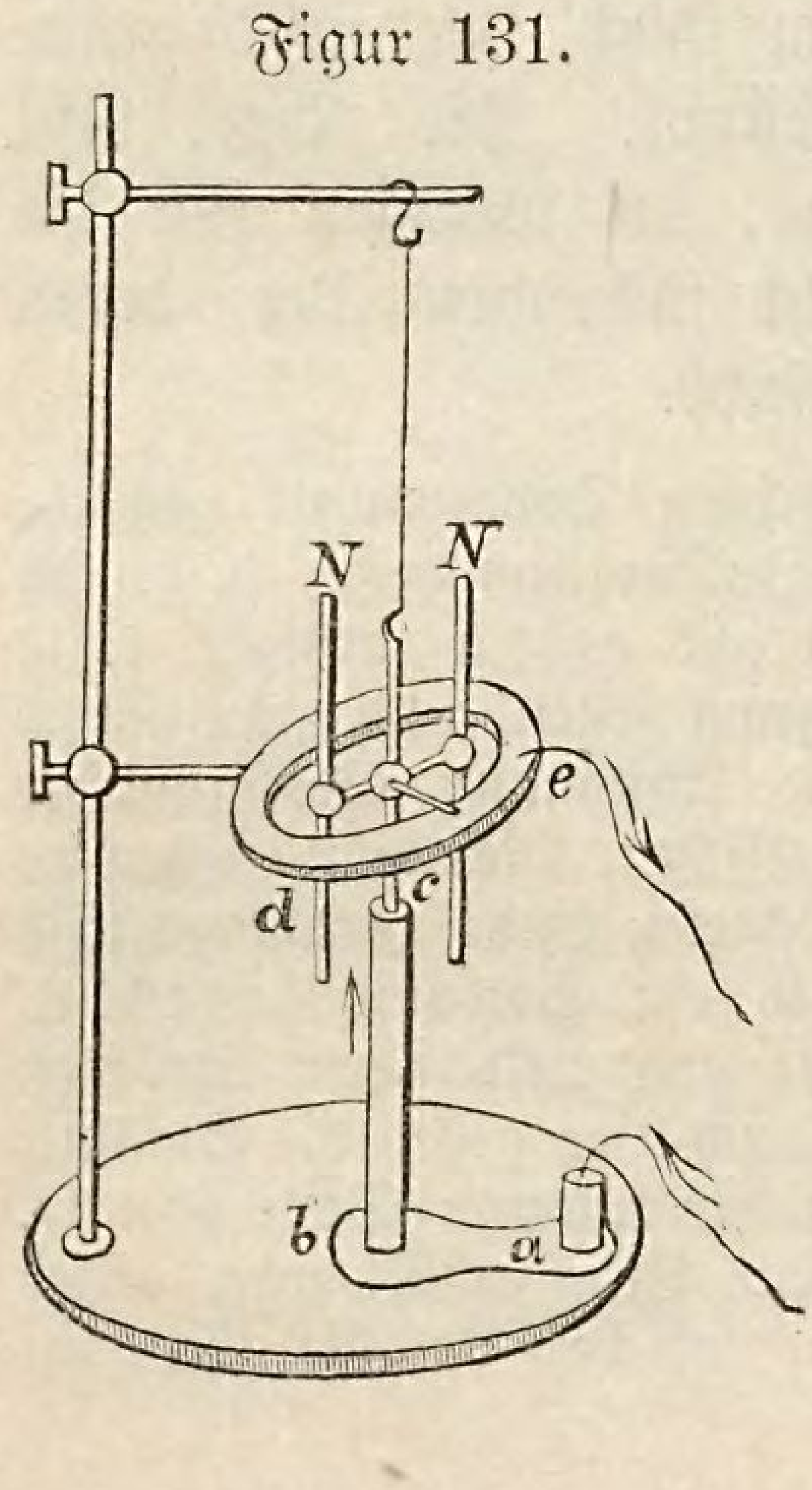
ihrer Nordhälfte südmagnetisch, und in ihrer Südhälfte nordmagnetisch ist, dieselbe von O. nach W. parallel mit dem magnetischen Äquator umkreisen müssen.

Die Schließungsdrähte zeigen sich also in jeder Beziehung als Magnete, denn sie ziehen Eisen an, sie teilen dem Eisen Magnetismus mit, sie wirken auf einander und auf Magnete wie Magnete, und sie stehen unter dem Einflusse des Erdmagnetismus.

Ampères Theorie, Ampères Gestell, an dem sich alle hier angegebenen Erscheinungen der elektrischen Ströme bequem zeigen lassen.

224. Den zweiten Hauptteil der elektromagnetischen Erscheinungen bilden die von dem Engländer Faraday entdeckten elektromagnetischen Rotationsbewegungen, wobei die perpendikuläre Lage des Leitungsdrahtes und Magneten, wie bei dem Örstedschen Versuche die horizontale, vorzugsweise in Betracht kommt. Diese Rotationen können nur dadurch möglich gemacht werden, daß der Leitungsdraht blos auf die eine Hälfte des Magneten wirkt: ist dabei der Draht fest und der Magnet beweglich eingerichtet, so muß die zweite Hälfte des Magneten die Bewegung der ersten annehmen, und es entsteht eine Bewegung des ganzen Magneten um den Leitungsdraht; bei der entgegengesetzten Einrichtung, damit der feste Magnet nur mit einer seiner Hälften auf den beweglichen Leitungsdraht wirkt, muß dieser um jenen rotieren. Die Erfolge der wechselseitigen Einwirkung lassen sich nach der in § 221 angegebenen Gilbertschen Regel bestimmen, wozu wieder der Apparat Figur 128 sehr zweckmäßig ist. In dem senkrechten Teile AD geht der Strom herab, und in F, auf der Südseite des Drahtes, wendet die Magnetnadel von selbst ihren Nordpol dem Drahte zu, in welchem die herabschwimmende und die Nadel ansehende Figur derselben eine Abweichung nach Westen anweist. Auf der West-, Nord- und Ostseite des Drahtes wird die Magnetnadel gezwungen, ihren Nordpol nach dem Drahte zu kehren durch das senkrecht mit dem Nordpol nach oben gestellte Magnetstäbchen; aber dennoch sieht man den Nordpol der Nadel auf der Westseite des Drahtes nach Norden, auf der Nordseite nach Osten, und auf der Ostseite nach Süden abweichen, worin eine Rotation des Nordpols um den Leitungsdraht von Norden über Osten nach Süden, also in der Richtung einer horizontal liegenden Uhr, ausgedrückt ist. Bei dem andern senkrechten Teile BC, in welchem der Strom heraufgeht, wird die Rotation nach derselben Regel in entgegengesetzter Richtung stattfinden; ebenso kehrt sich die Richtung der Rotation um, wenn man demselben Drahte den Südpol der Nadel, statt des Nordpols zuwendet.

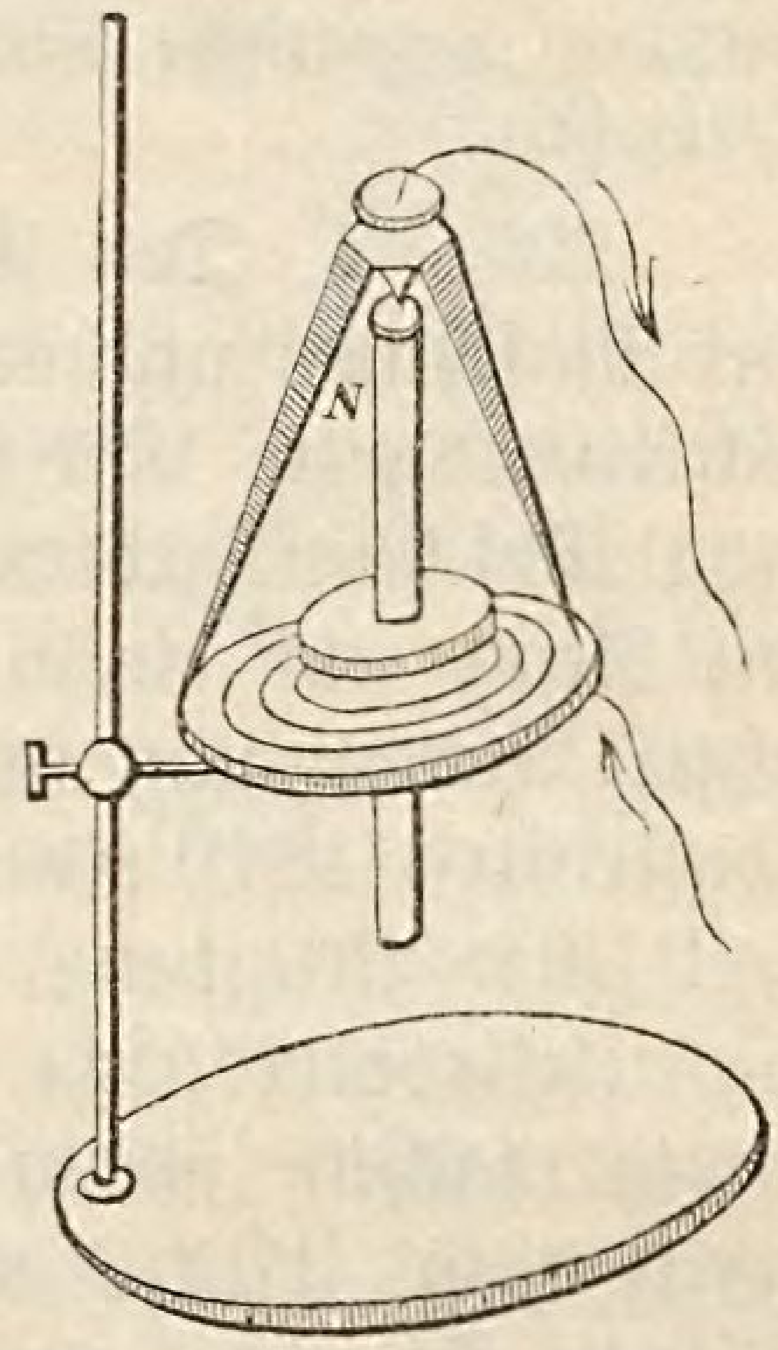
Figur 131.



1) Für die Rotation eines Magnets oder zweier Magnete um einen vertikalen Leitungsdraht giebt die Figur 131 ein bequemes In-

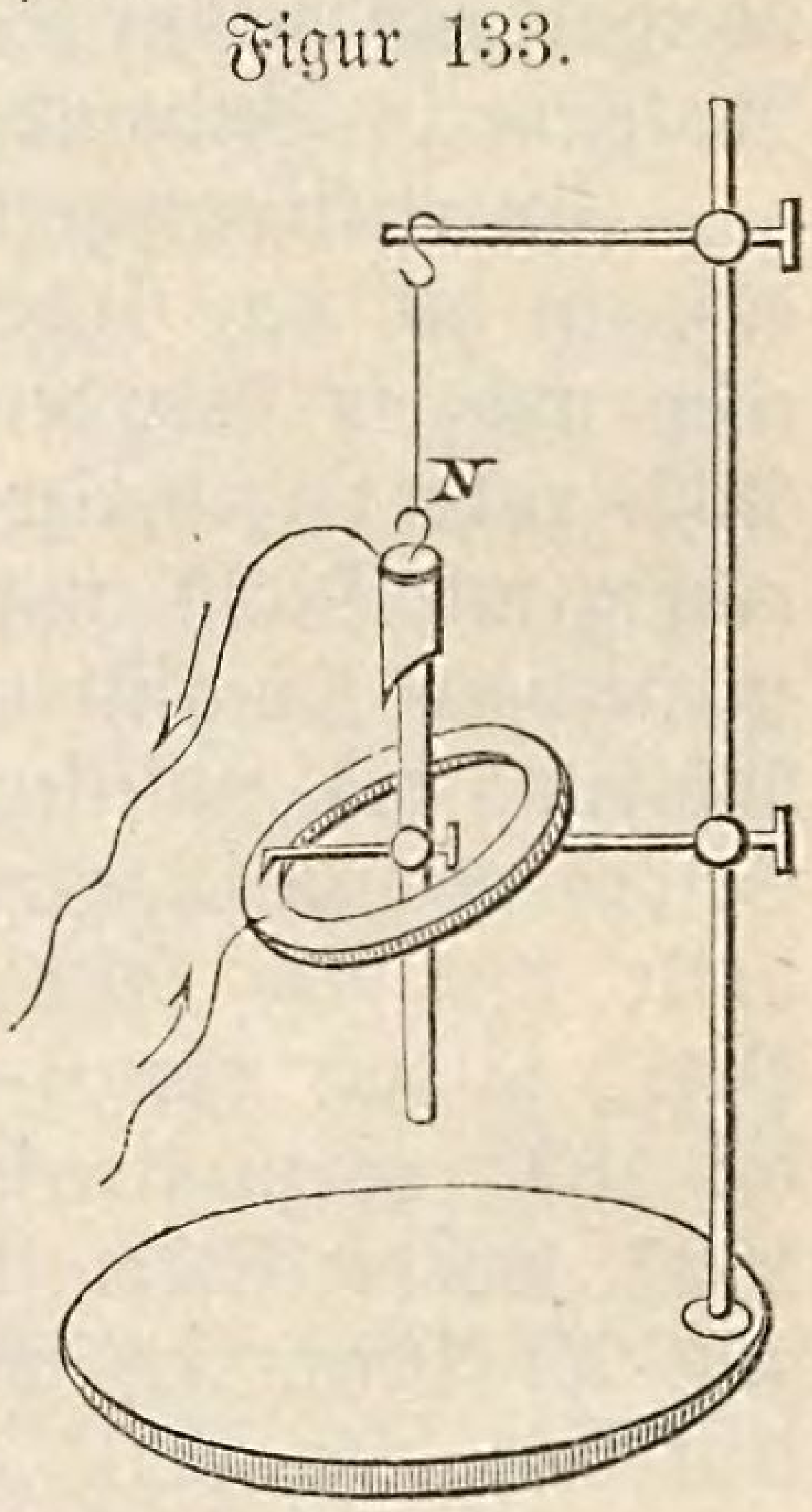
strument an, zu dessen Verständnis hier nur folgendes stehen mag. Der Leiter ist b c, welcher hier mit dem + Pole verbunden ist, während das Quecksilber der hölzernen Kreisrinnen d e mit dem — Pole verbunden wird; die zwei Magnetstäbe, hier mit den Nordpolen nach oben durch einen metallenen Querstab verbunden, dessen herabgehende Spitze in das Quecksilber des oben ausgehöhlten Leiters, und dessen seitwärts gehender Arm mit seiner Platinaspitze in die Quecksilberrinne reicht, werden zweckmäßig aufgehangen u. s. w. Ob die Rotation, welche nur durch die Wirkung des Drahtes b c auf die unteren Teile der Magnetstäbe hervorgebracht wird, in der Richtung der Zeiger einer horizontal gehaltenen Uhr oder umgekehrt stattfindet, ist nach der bekannten Regel zu bestimmen; in unsrer Figur müßte also, da der aufsteigende Strom auf die Südpole der Stäbe wirkt, die Rotation in der ersten Art stattfinden.

Figur 132.



2) Daß auch ein leicht beweglicher Leiter um einen festen Magnet in Rotation zu bringen sein muß, ist nach § 222 von selbst einleuchtend. Durch den leicht zu verstehenden Rotationsapparat, Figur 132, läßt sich zeigen, daß um einen senkrecht mit dem Nordpole nach oben festgestellten Magnet ein beweglicher Leitungsdraht von Norden über Osten nach Süden rotiert, wenn er den Strom heraufführt, dagegen umgekehrt, wenn der Strom herabgeht; also dort wie der Zeiger einer horizontal liegenden Uhr, hier umgekehrt. Befindet sich der Südpol des Magnets oben, so macht der Draht seine Umläufe bei herauf= und herabgehendem Strome umgekehrt. Die Gilbertsche Regel ist anwendbar, wenn man so schließt: der Magnet müßte so abweichen, mithin der Leiter umgekehrt so u. s. w.

Figur 133.



3) Ein Magnetstab, welcher um seine vertikale Achse drehbar aufgehangen wird, rotiert auch, wenn durch ihn von einem Ende nach der Mitte oder umgekehrt ein galvanischer Strom geleitet wird. Ist der Nordpol oben, und geht der Strom von oben bis zur Mitte, so nimmt der Magnet eine Drehung in der Richtung der Zeiger einer horizontal gehaltenen Uhr an, so wie umgekehrt, wenn bei demselben Strome sich der Südpol oben befindet. Beim Wechsel in der Richtung des Stromes geht, wenn der Magnet unverändert gehalten wird, die Drehung in die entgegengesetzte über. Denken wir uns die Achse gleichsam als den Leiter, welchen der Magnet

umgiebt, so ist auch hier die Gilbertsche Regel zur Bestimmung der Richtung der Rotation gültig. Figur 133.

Das Barlowsche Rad. — Rotation eines kreisförmig gewundenen Leitungsdrahtes innerhalb der Pole eines hufeisenförmigen Stahlmagneten. — Rotation zweier kreisförmig gewundener und zu einem Systeme verbundener Leitungsdrähte um die Außenseite der Pole. — Rotation eines Elektromagnets innerhalb der Pole eines Stahlmagnetes. Bei den hierzu bestimmten Rotationsapparaten wird die nötige augenblickliche Unterbrechung des Stromes durch die Rotation selbst hervorgebracht. Die senkrecht herabgehenden Enden des Drahtes des rotierenden, mit einer senkrechten Achse versehenen Teiles reichen in einen Holznapf, welcher durch eine hölzerne Scheidewand in zwei Abteilungen geteilt ist. Werden diese Abteilungen mit Quecksilber gefüllt, so daß es nicht aus der einen in die andere überfließen kann, sodann die beiden Quecksilbermassen, welche jene Enden berühren, mit den Polen einer Batterie verbunden, so erfolgt Bewegung; so oft die Drahtenden über die hölzerne Scheidewand hinweggehen, wird der Strom unterbrochen, die Bewegung kann aber wegen des Beharrungsgesetzes nicht sogleich aufhören, und so wie die Enden wieder das Quecksilber berühren, tritt das frühere magnetische Verhalten ein, weshalb die Bewegung ohne Unterbrechung fortgeht. —

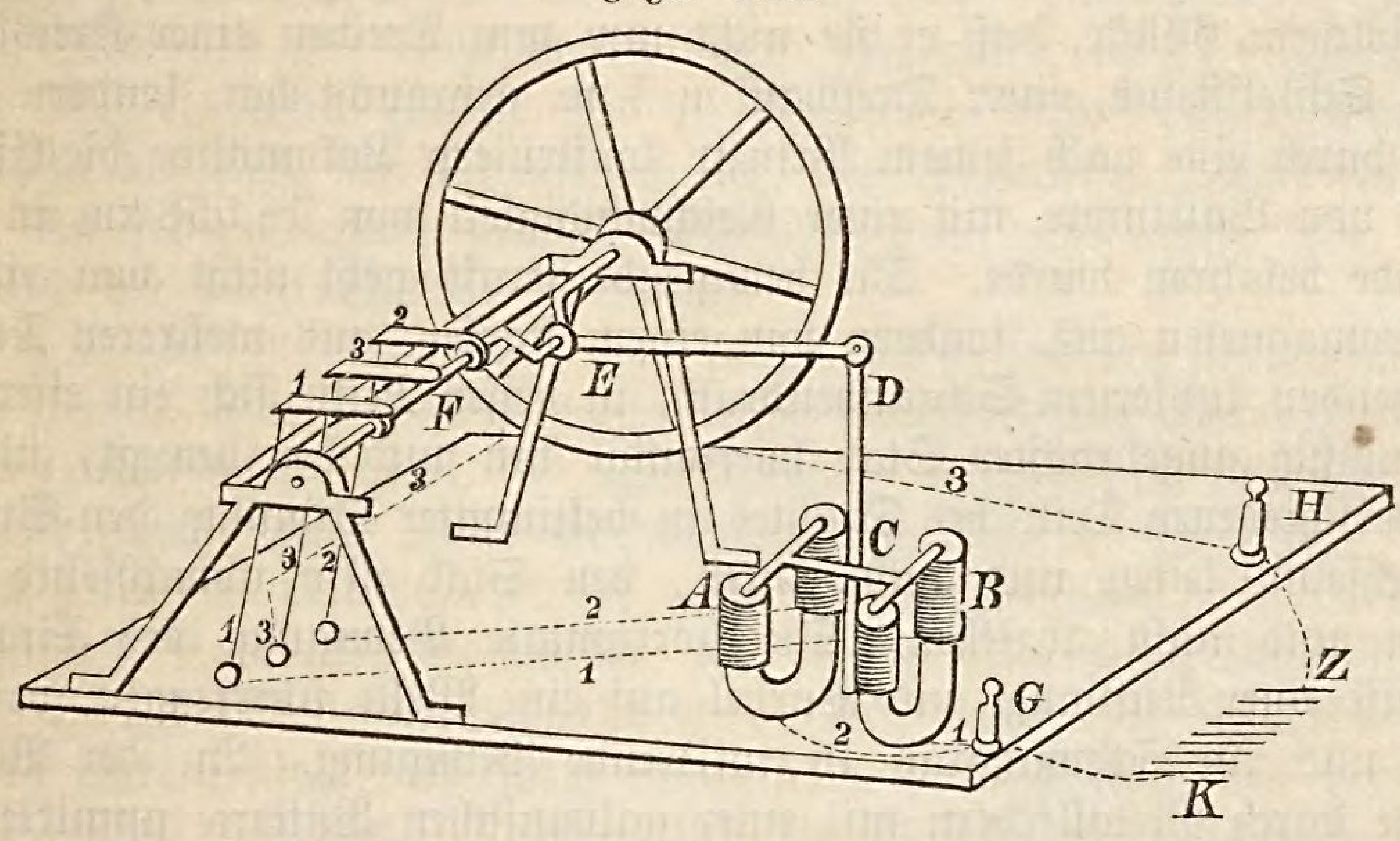
225. I. Den Elektromagnetismus hat man als bewegende Kraft bei Maschinen und besonders bei den Telegraphen angewendet. Kräftige Elektromagnete von einigen Centnern Tragkraft werden zur Bewegung von Maschinen gebraucht, und schon 1838 befuhr Jakobi in Petersburg die Newa auf einem elektromagnetischen Kahne von 8 m Länge und einer Bemannung von 12 Personen, und Wagner in Frankfurt a. M. konstruierte 1840 einen elektromagnetischen Wagen, welcher einen andern mit 30 k Belastung auf einer Holzbahn fortzog. Bis jetzt jedoch hat die elektromotorische Kraft der Dampfkraft eine ernste Konkurrenz kaum machen können, wohl schon darum nicht, weil Zink und Säure weit mehr kosten, als Kohle. Erst in aller neuester Zeit hat die Firma Siemens und Halske in Berlin einen Versuch gemacht, die Dampfkraft durch elektromotorische Kraft zu ersetzen, indem sie eine freilich nur wenige Kilometer lange Bahn der Benutzung des Publikums übergab, auf welcher die Wagen durch eine neu erfundene elektromotorische Maschine in Bewegung gesetzt werden.

Ein elektromagnetisches Räderwerk läßt sich einfach so konstruieren, daß ein mit den Enden nach oben, auf einem Brette befestigtes Hufeisen und ein über demselben in geringer Entfernung auf einer eigenen Achse ruhender, horizontaler, starker, prismatischer Stab, beide zweckmäßig mit Draht umwunden und mit einem in § 224, 3 angegebenen, zweiteiligen Quecksilbernapf, dessen Scheidewand in der Richtung der Wölbung des Hufeisens liegt, verbunden, gleichzeitig durch denselben Strom magnetisch gemacht werden. Jedes Ende des Stabes und der unter ihm sich befindende Fuß des Hufeisens erhalten gleichnamige Pole, so daß von 0—90° vorzugsweise doppelte Abstoßung, von 90 bis 180° vorzugsweise doppelte Anziehung auf den Stab wirkt; bei 180°, wo der Strom durch die hölzerne Scheidewand unterbrochen wird, geht die Bewegung wegen des Beharrungsvermögens weiter, und es tritt von 180—360° genau dieselbe Wirkung ein, wie von 0—180°,

nur daß die Pole beider Magnete, sich umkehren. Wenn der über den Stab heraustretende Teil der Achse mit einem Getriebe versehen ist, so läßt sich die Bewegung des Stabes auf andere Räder fortpflanzen.

Die Figur 134 zeigt eine andere Maschine, die für den Schulunterricht zu empfehlen ist. Werden die beiden Hufeisen A und B ab-

Figur 134.



wechselnd magnetisch, so muß der aus weichem Eisen bestehende Doppelanker C eine wiegende Bewegung annehmen, indem der linke und rechte Teil abwechselnd angezogen werden; in Folge dessen muß der Stab D diese Bewegung mitmachen, und die Leitstange E muß horizontal hin und her gehen, und mittelst des Krumzapfens F die metallische Welle in Rotation setzen, wodurch andere Maschinenteile bewegt werden können. Das Rad wirkt als Schwungrad. Wie die abwechselnde Magnetisierung der Hufeisen durch den galvanischen Strom erreicht wird, ist aus der Figur zu sehen, worin die von der Klemmschraube G ausgehende, zu B gehörige Drahtverbindung, so wie die dazu gehörige Feder über der Welle überall mit 1, die ähnliche auch von G ausgehende, zu A gehörige Drahtverbindung überall mit 2, mit 3 aber das mittlere der drei senkrechten Stäbchen, so wie seine Feder oben und die Drahtleitung unten nach der andern Klemmschraube H bezeichnet wird. Die Federn 1 und 2 berühren die Welle während der Rotation immer nur auf der einen Hälfte, und zwar abwechselnd, in Folge der auf den entgegengesetzten halben Peripherien angebrachten Erhabenheiten; die Feder 3 aber liegt ohne Unterbrechung auf der Welle, und erhält daher abwechselnd den Strom, welcher von K durch G geht, von 1 und 2, und führt ihn durch die Drahtleitung 3 und durch H nach Z.

Jakobis Apparat zum Betriebe von Maschinen besteht aus zwei Systemen solcher elektromagnetischer Hufeisen, von denen die einen in einer beweglichen, die andern in einer unbeweglichen Holzscheibe befestigt sind. Die Enden der Hufeisen des beweglichen Systems gehen bei stattfindender Bewegung dicht vor denen des unbeweglichen vorüber; die Rotation selbst wird hervorgebracht durch Anziehung und Abstoßung, indem die Hufeisen durch die galvanische Batterie so

magnetisch werden, daß die Enden der beweglichen, deren Pole mittelst eines Stromwenders wechseln, von den in der Richtung der Bewegung liegenden Enden der unbeweglichen mit festen Polen angezogen, gleichzeitig aber von den andern Enden abgestoßen werden. — Die Zugkraft der Magnete, die mit der Entfernung schnell abnimmt, ist von der Tragkraft zu unterscheiden.

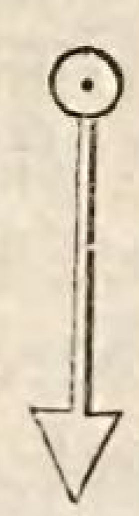
Page in Amerika hat die elektromagnetische Kraft in anderer Art zur Bewegung von Maschinen in Anwendung gebracht, und zwar mit solchem Glücke, daß er sie nicht nur zum Treiben einer Kreissäge, eines Schleifsteins, einer Drehbank u. s. w. gebraucht hat, sondern daß auch durch eine nach seinem Prinzip konstruierte Lokomotive die Eisenbahn von Baltimore mit einer Geschwindigkeit von 18,558 km in der Stunde befahren wurde. Die bewegende Kraft geht nicht von einem Elektromagneten aus, sondern von einem starken, aus mehreren Teilen bestehenden kupfernen Schraubendraht, in dessen Mitte sich ein eiserner, zweckmäßig angebrachter Stab horizontal hin und her bewegt, indem die verschiedenen Teile des Drahtes in bestimmter Ordnung den Strom abwechselnd leiten und nicht leiten, den Stab also abwechselnd anziehen und nicht anziehen. Die horizontale Bewegung des Stabes, mittelst einer Leitstange und Kurbel auf eine Welle übertragen, versetzt diese und ihr Schwungrad in rotierende Bewegung. An der Welle, welche durch Metallfedern mit einer galvanischen Batterie unmittelbar verbunden wird, befindet sich der Stromunterbrecher, durch welchen der Strom nach den verschiedenen Teilen des Schraubendrahtes zugelassen, oder von ihnen abgehalten wird; es sind Erhabenheiten und Vertiefungen an denjenigen Stellen der Welle, über welche die Federn liegen, angebracht, so daß diese, wenn sie über die Erhabenheiten hinweggehen, gehoben und dadurch außer Verbindung mit der Leitung des einen oder des andern Teiles des Schraubendrahtes gesetzt werden, während das Gegenteil sofort eintritt, wenn eine Vertiefung unter der Feder fortgeht, und sie sich also senkt. Das bewegende Prinzip von Page beruht auf folgender Thatsache: Eine kräftige Spirale, deren Enden mit einer galvanischen Batterie verbunden werden, wird stark magnetisch und hält daher eine innerhalb angebrachte eiserne Stange fest, und zieht sie, wenn sie zum Teil herausgezogen worden ist, sofort schnell zurück.

II. 1) Jeder elektrische Telegraph hat zwei Teile, den Zeichengeber (Kommunikator) an dem Orte, von welchem man telegraphiert, und den Zeichenbringer (Indikator) an dem Orte, von welchem man telegraphiert. Die beiden Apparate werden durch Kupferdrähte mit einander verbunden, welche entweder in der Luft auf Stangen, durch Porzellan isoliert, angebracht, oder besser in der Erde, auch im Meere, durch Guttapercha isoliert, fortgeführt werden. Der Zeichengeber enthält als Quelle der Elektricität eine galvanische Batterie und einen Stromunterbrecher, durch welchen erreicht wird, daß der Strom mit beliebigen Unterbrechungen durch einen Draht nach dem Zeichenbringer hingeleitet, und durch einen zweiten Draht nach dem Zeichengeber zurückgeleitet

wird. Der Strom durchläuft dabei entweder, wie bei den Nadeltelegraphen, die Windungen eines Multiplikators, wodurch die darin enthaltene Magnetnadel je nach der Richtung des Stromes nach rechts oder links abgelenkt wird, oder, wie bei den andern Telegraphen, die Windungen eines Elektromagneten, der durch seine Ankerbewegung auf andere Teile des Apparats bewegend wirkt; der den Strom zurückführende Draht kann erspart werden, indem man von demselben an den beiden Stationen nur kurze Enden behält, an welche einige Quadratfuß große Kupferplatten gelötet und in die feuchte Erde versenkt werden, wo dann die Erde den Strom ableitet, wie Schönbein (1838) entdeckt hat. An jeder Station müssen beide Apparate vorhanden sein, um hin und her telegraphieren zu können.

2) Nadeltelegraphen sind solche, bei denen der Zeichenbringer durch Rechts- oder Linksbewegungen einer oder mehrerer Nadeln Zeichen für die Buchstaben giebt. — Alle andern Telegraphen bewegen den Zeichenbringer durch einen Elektromagneten. Beim Zeiger- oder Buchstabentelegraphen zeigt der Zeichengeber mittelst einer beweglichen Nadel auf Buchstaben, die am Rande einer Scheibe stehen. Beim Druck- oder Schreibtelegraphen macht der Zeigenbringer mittelst eines Stiftes auf einem beweglichen Papierstreifen aus Punkten und Strichen bestehende Zeichen für die Buchstaben, während beim Typendrucktelegraphen ein Typenrad die Buchstaben auf das bewegliche Papier abdruckt. Der Kopiertelegraph endlich giebt die Depesche in derselben Schrift wieder, in welcher sie geschrieben ist.

3) Von den Nadeltelegraphen werden jetzt wohl nur noch die mit einer Nadel gebraucht, und zwar in dem Falle, wenn die sehr große Länge des Leitungsdrahtes, wie beim transatlantischen Telegraphen, es schwierig macht, stärkere Ströme von einer Station zur andern hinüber zu leiten. Die Nadel steht vertikal innerhalb eines Multiplikators, und ihre Achse trägt auf der vorderen Seite einen die Bewegung der Nadel mitmachenden Zeiger. Verbindet man 1 bis 4 Ablenkungen der Nadel nach links und rechts mit einander, so erhält man die nötigen Zeichen für die Buchstaben; sollen diese auf einem sich unter der Nadel fortbewegenden Papiere aufgezeichnet werden, so befestigt man an ihr einen feinen Heber, dessen kürzeres Ende in ein Tintenfaß

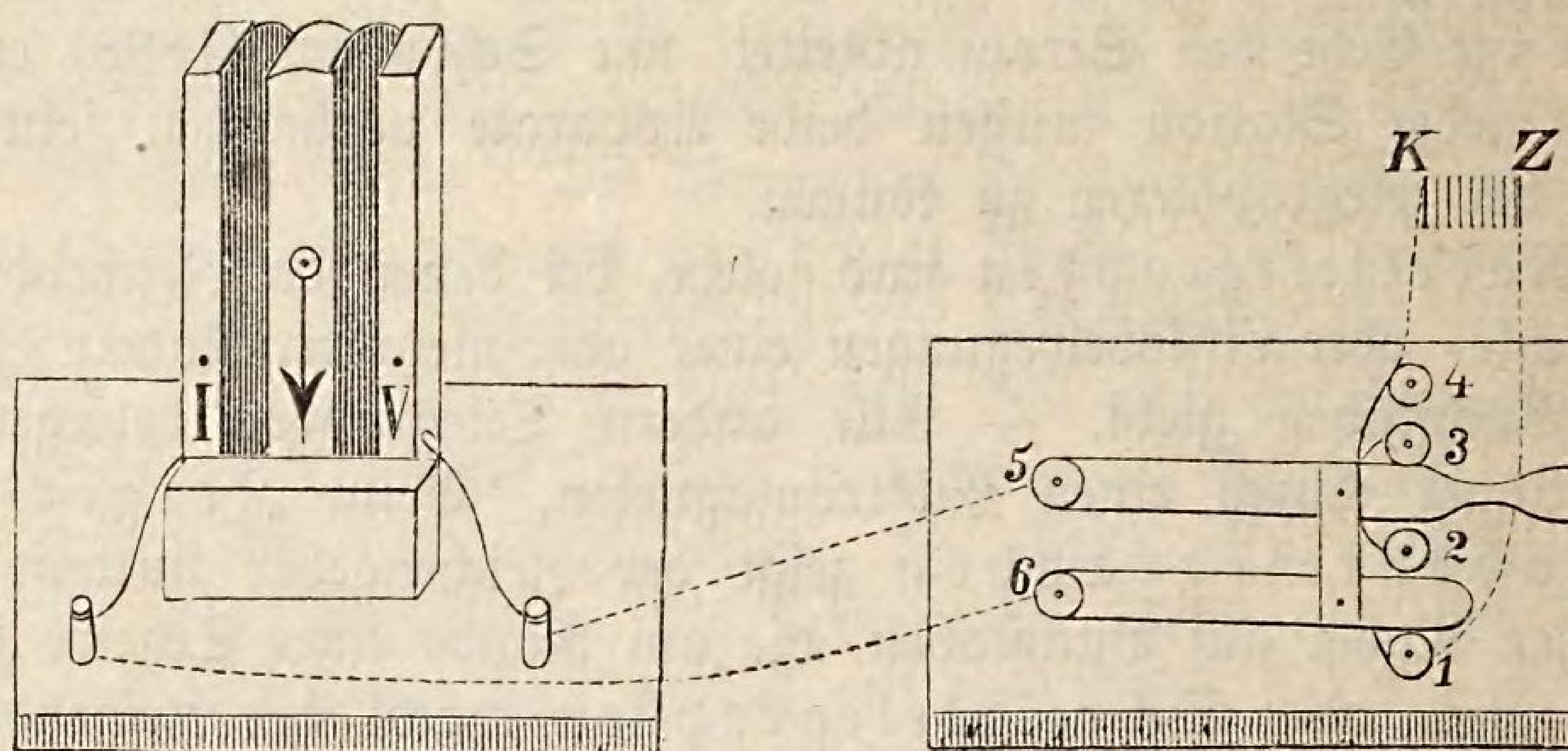
A	I		VI	P
B	II		VII	Q
C	III		VIII	R
D	IIII		VIV	S
E	IV		VIIV	T
F	IIV		VIVI	U
G	IIIV		VVI	V
H	IVI		VVV	W
I	IVV		VVVI	X
K	IVVI		VIVV	Y
L	IIVI		VVIV	Z
M	IIVV	I V		
N	IVVV			
O	IVIV			

taucht, während aus dem längeren Tinte in regelmäßigen Tröpfchen auf das Papier fließt. Auf jeder Seite des Zeigers befindet sich ein Stift, welcher verhindert, daß die Nadel über 25° abweicht; am linken Stift

steht I, am rechten V, und werden durch Ablenkungen nach I oder V alle Zeichen für die Buchstaben zusammengesetzt, wie aus der vorstehenden Tabelle zu sehen ist.

Der Zeichengeber kann so wie in Figur 135 eingerichtet werden, bei deren Zeichnung die Ansicht von oben gewählt wurde. Vier Kupfersäulchen 1, 2, 3, 4 stehen auf einem Brettchen senkrecht neben einander,

Figur 135.

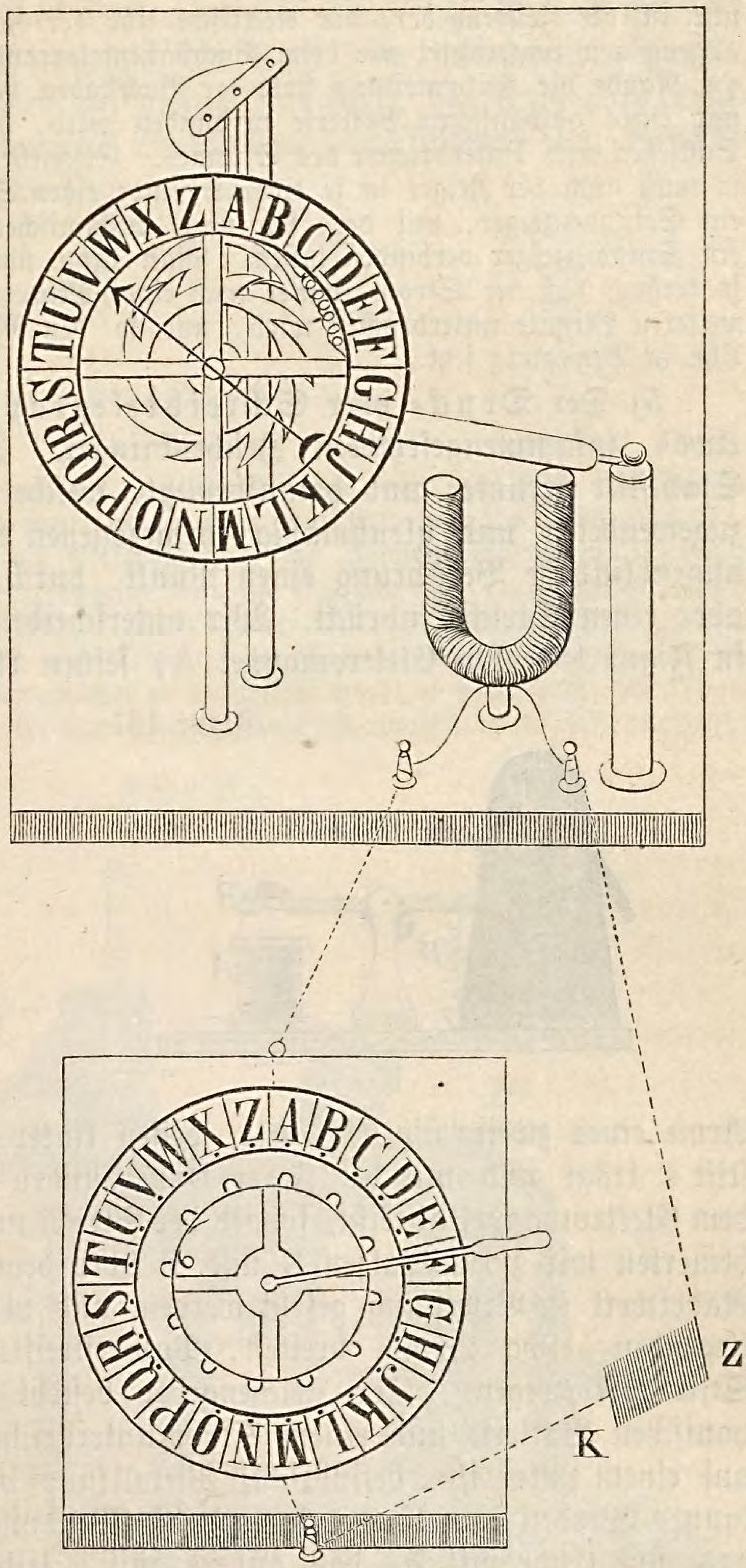


von 4 und 1 führen Klemmschrauben nach der Batterie, außerdem sind 4 mit 2 und 3 mit 1 leitend verbunden. Auf den auch mit Klemmschrauben versehenen Säulen 5 und 6 ruhen, beweglich eingerichtet, zwei Kupferstreifen, über die Enden der Säulchen 1, 2, 3 hinwegreichend, der eine mit einem Griff versehen, beide aber durch ein isolierendes Elfenbeinstäbchen getrennt. Stellt man den beweglichen Teil so, daß, wie in der Figur, 5 und 6 die 2 einschließen, so ist der Strom unterbrochen; er wird hergestellt, sobald 5 mit 3 und 6 mit 2 verbunden werden, und umgekehrt, wenn man 5 mit 2 und 6 mit 1 verbindet.

4) Weiches Eisen, welches mit Kupferdraht, der mit Seide umsponnen, umwickelt ist, wird magnetisch, sobald durch den Kupferdraht ein galvanischer Strom geht, und wieder unmagnetisch, sobald man den Strom unterbricht. Hierauf beruht nicht nur der Zeiger- oder Buchstabentelegraph (Whealstone 1840, Siemens, Halske) sondern auch fast alle übrigen Telegraphen. Der Zeichenbringer des Buchstabentelegraphen Fig. 136 besteht a) aus einer senkrecht stehenden Kreisscheibe oder einem Kreisringe, der in gleiche Teile geteilt ist, die mit den Buchstaben des Alphabets versehen sind, auf welche eine um den Mittelpunkt drehbare Nadel hinzeigt; b) aus einem Elektromagneten; c) einem Räderwerk, welches die Nadel mit dem Anker des Elektromagneten so verbindet, daß sie bei jedem Anziehen, wie bei jedem Loslassen des Ankers um einen Buchstaben weiter springt. Der Zeichengeber besteht a) aus einem gewöhnlich horizontal liegenden Metallringe mit genau derselben Einteilung und denselben Buchstaben, wie beim Zeichenbringer; b) aus einem kleineren konzentrischen Metallringe mit Metall-

knöpfen bei je zwei nicht neben einander liegenden Buchstaben, und einem Zeiger, der sich mit der Hand auf den Knöpfen schleifend im Kreise herum bewegen läßt; c) aus einer galvanischen Batterie und zwei Klemmschrauben, von denen Drähte, der eine nach dem Zeiger, der andere nach dem inneren Metallringe führen. Von der Batterie führt ein Draht direkt nach der einen Klemmschraube des mit dem Elektromagneten in Verbindung stehenden Zeichenbringers, der andere nach der einen Klemmschraube des Zeichengebers, während die beiden anderen Klemmschrauben des Zeichengebers und des Zeichenbringers auch durch einen Draht mit einander in Verbindung stehen. Der Strom durchläuft alle Drähte, so oft der bewegliche Zeiger einen Metallknopf berührt. Stellt man nun im Anfange die Nadel des Zeichenbringers und den Zeiger des Zeigengebers auf denselben Buchstaben, so muß die Nadel den Bewegungen des Zeigers genau folgen, weil beim Fortbewegen des Zeigers um einen Buchstaben immer der Strom entweder hergestellt oder unterbrochen, und dadurch auch die Nadel um einen Buchstaben weiter geschoben wird. Soll telegraphiert werden, so giebt man vom Zeichengeber aus mit einer Glocke, die durch den Elektromagneten bewegt wird, ein Zeichen, und hält dann bei jedem Buchstaben, der telegraphiert werden soll, etwas an.

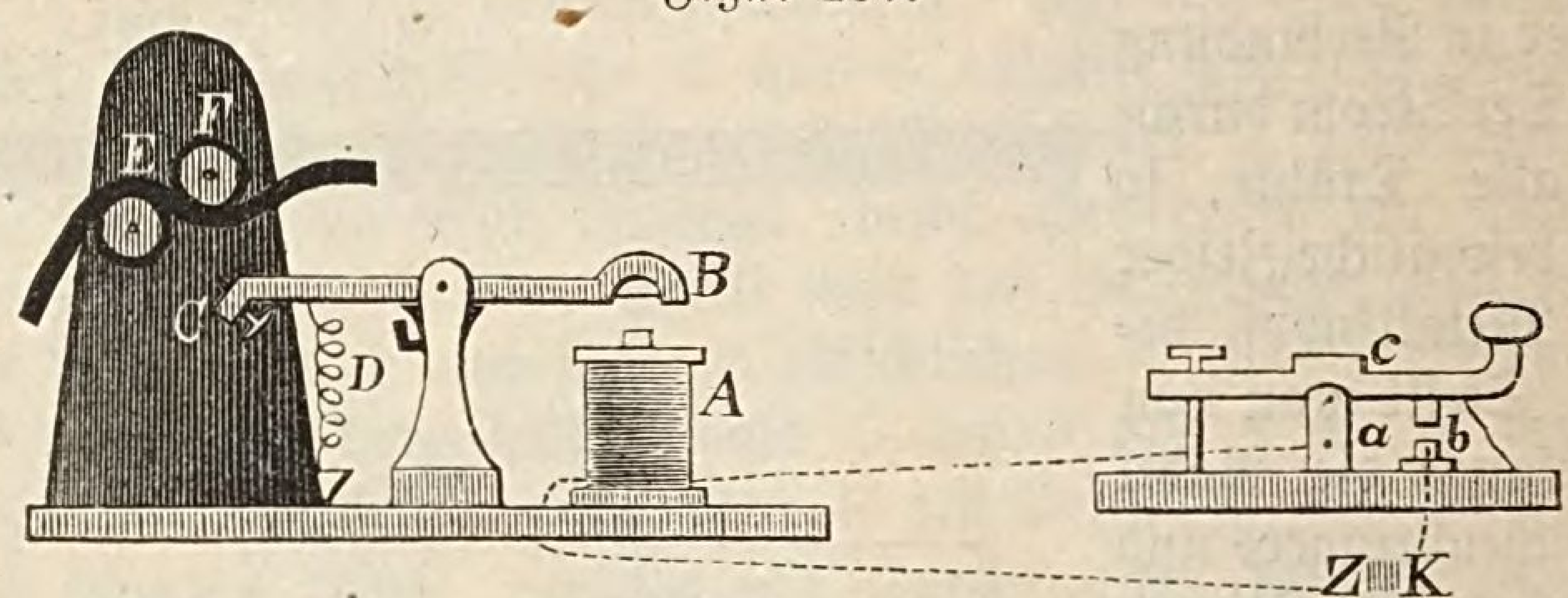
Figur 136.



Die elektrischen Uhren telegraphieren die Zeit und sind Zeigertelegraphen; der ihnen zu Grund liegende Gedanke ist folgender: Eine gewöhnliche Pendeluhr, welche wie alle Uhren aus einem Geh- und Zeigerwerk besteht und hier Normaluhr heißt, soll auf eine beliebige Anzahl von ihr beliebig entfernter Uhren, die nur ein Zeigerwerk mit Zifferblatt und einem Elektromagneten nebst sonstigen mechanischen Vorrichtungen besitzen, ihren Gang genau übertragen. Diese Normaluhr ist der Zeichengeber, die elektrische Uhr der Zeichenbringer. Dieser ist im allgemeinen eingerichtet wie beim Buchstabentelegraphen, nur daß das Zifferblatt am Rande die Zeiteinteilung statt der Buchstaben hat. Die Normaluhr, welche mit einer galvanischen Batterie verbunden wird, besitzt eine Vorrichtung zum Schließen und Unterbrechen des Stromes. Geschieht dies Sekunde für Sekunde, so muß auch der Zeiger in je einer Sekunde einen Sprung machen und ist dann ein Sekundenzeiger, mit dem sich nach mechanischen Regeln ein Minuten- und ein Stundenzeiger verbinden lassen. Man kann natürlich auch die Einrichtung so treffen, daß der Strom immer nach einer Minute geschlossen, und nach einer weiteren Minute unterbrochen wird, und so den Minutenzeiger der elektrischen Uhr in Bewegung setzt.

5) Der **Druck- oder Schreibtelegraph von Morse** hat einen etwas zusammengesetzteren Zeichenbringer. In demselben wird ein Stahlstift herunter und heraufbewegt, welcher auf einem seiner Spitze zugewendeten und gleichmäßig fortgezogenen Papierstreifen durch eine augenblickliche Berührung einen Punkt, durch eine länger andauernde aber einen Strich eindrückt. Wir unterscheiden bei dem Zeichenbringer in Figur 137 den Elektromagnet A, seinen Anker B an dem rechten

Figur 137.



Arme eines zweiarmigen Hebels, dessen linker Arm hier den Schreibstift C trägt und mit der Feder D verbunden ist, die den Anker von dem Elektromagnet abreißt, sobald der Strom unterbrochen wird. Ferner bemerken wir zwei Walzen E und F über dem Stift, welche durch ein Räderwerk in Bewegung gesetzt werden, und vereint den zwischen ihnen liegenden, etwa 26 mm breiten, Papierstreifen gleichmäßig über dem Stift fortbewegen. Der Zeichengeber besteht wieder aus einer galvanischen Batterie und einem Stromunterbrecher, dem Schlüssel c, der auf einem unter ihm befindlichen Metallknopf b heruntergedrückt werden kann. Werden nun K mit b, und die Windungen des Elektromagnets, das eine Ende mit Z, das andere mit a leitend verbunden, so wird bei jedem Niederdrücken des Schlüssels auf den Knopf der Strom hergestellt, beim Aufheben aber unterbrochen. Erhält nun auch gleichzeitig der Papierstreifen seine Bewegung, so entsteht bei einem nur augenblicklichen Andrücken des Schlüssels auf den Knopf auch nur ein

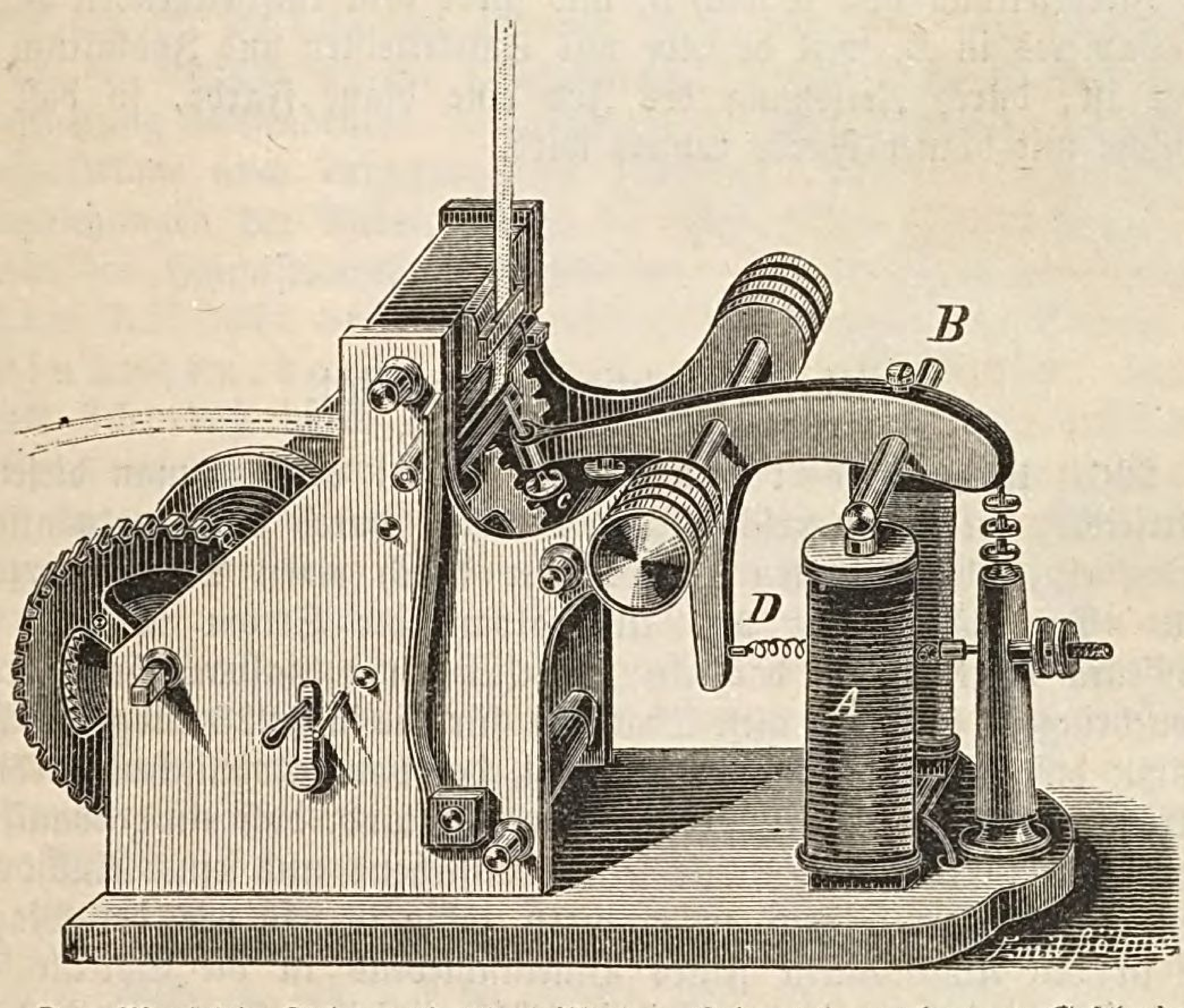
augenblicklicher Strom, ein schnell auf einander folgendes Magnetisieren und Entmagnetisieren des Hufeisens, ein schnell auf einander folgendes Herauf- und Herabgehen des Stiftes und dadurch auf dem Papierstreifen ein Punkt; ebenso muß bei einem etwas längeren Andrücken des Schlüssels an den Knopf eine Linie entstehen, da der Papierstreifen sich fortbewegt. Wird der Strom unterbrochen, so ist das Hufeisen unmagnetisch, der Anker in Ruhe, der Stift vom fortrückenden Papierstreifen entfernt, und daher auf diesem eine Lücke, die kürzer oder länger gemacht wird, je nachdem sie Buchstaben oder Wörter von einander trennen soll. Die Zeichen sind folgende:

A . —	F . . — .	L . — . .	Q — — . —	V . . . —
B — . . .	G — — .	M — —	R . — .	W . — —
C — . — .	H	N — .	S . . .	X — . . —
D — . .	I . .	O — — —	T —	Y — . — —
E .	K — . —	P . — — .	U . . —	Z — — . .

Zum Beispiel . — . — — . . — . . . . — — — . — . . England.

Um auf große Entfernungen zu telegraphieren, wird am Orte des Zeichenbringers eine Batterie aufgestellt, welche man *Hülfs-* oder *Lokalbatterie* nennt, und durch welche der Elektromagnet des Zeichenbringers in Thätigkeit gesetzt wird, während der Zeichengeber nur die Aufgabe hat, die Lokalbatterie abwechselnd zu schließen und zu öffnen. Dazu ist aber ein vermittelnder Apparat nötig, der gleichsam die Schließung und Öffnung der Batterie am Zeichengeber auf die Lokalbatterie überträgt, neben welcher er aufgestellt wird; er heißt daher der *Überbringer* oder das *Relais*. Er verrichtet sein Geschäft mittelst eines Elektromagnets.

Figur 138.



Der Morsesche Telegraph übertrifft den Zeigertelegraphen an Geschwindigkeit und Sicherheit; es lassen sich durch ihn in einer Minute 100 Buchstaben

telegraphieren, durch den Zeigertelegraphen aber nur 20. Figur 138 giebt eine etwas elegantere Zeichnung des Zeichenbringers, die aber weniger deutlich ist als Figur 137.

6) Der Typendrucktelegraph von Hugkes ist auf vielen Hauptstationen eingeführt und arbeitet schneller noch als der Zeigertelegraph. Er enthält eine Art von Klaviatur, mit so vielen Klavis als Buchstaben sind. Das Typenrad trägt an seinem Umfange die bei jeder Umdrehung frisch geschwärzten Typen, unter denen sich ein Papierstreifen fortbewegt. Drückt man die mit dem zu telegraphierenden Buchstaben bezeichnete Klavis des Zeichengebers herunter, so hebt sich beim Zeichenbringer ein Rädchen, welches das Papier gegen diesen Buchstaben drückt und ihn so abbildet. Der Apparat ist sehr kompliciert.

7) Der Kopiertelegraph von Bains würde den Vorzug vor allen andern Telegraphen verdienen, da er die Depeschen in derselben Handschrift wiedergiebt, und da man mit demselben selbst Zeichnungen, Noten u. s. w. telegraphieren kann, wenn nicht technische Schwierigkeiten seine allgemeine Einführung hinderten. Soll von A nach B telegraphiert werden, so setzt man an jedem der beiden Orte durch einen Elektromagnet ein Pendel in Bewegung, welches einen Stift hin und her über jeden Punkt des darunter liegenden Papieres zieht. Beide Pendel schwingen genau gleich schnell. Das Papier, auf welches in A die Depesche geschrieben wird, ist ein Leiter, die Tinte ein Isolator. Berührt nun in A der Stift, durch welchen ein galvanischer Strom geht, einen mit Tinte beschriebenen Punkt, so geht der Strom durch eine Zweigleitung von A nach B, und giebt dem entsprechenden Punkte des Papieres in B, weil derselbe mit Stärkekleister und Jodkalium getränkt ist, durch Zersetzung des Jod eine blaue Farbe, so daß die Depesche mit blauer Farbe kopiert wird.

III. Induktionselektricität.

226. Unter Induktionselektricität versteht man diejenige Elektricität, welche in geschlossenen Drähten durch einen galvanischen Strom eines benachbarten Leiters oder durch einen Magnet erzeugt wird. Da ein Magnet und ein galvanischer Strom in einer geschlossenen Drahtspirale dasselbe, nämlich einen galvanischen Strom, hervorbringen, so spricht diese Thatsache für die in § 223 ausgesprochene Ansicht, daß der Magnet ein Körper ist, der von galvanischen Strömen umkreist wird. Sehr merkwürdig ist der Umstand, daß ein galvanischer Strom nur in dem Augenblicke seines Entstehens und seines Aufhörens einen galvanischen Strom zu erzeugen fähig ist, so wie der Magnet nur in den Augenblicken seines Hineinschiebens in die Spirale und seines Herausziehens, jener also nie während seiner Dauer, und dieser nie während er in der Spirale, ruht. Die elektrischen Ströme selbst

dauern nur einen Augenblick; es kann daher eine andauernde Wirkung nur dadurch hervorgerufen werden, daß man eine Menge solcher momentaner Ströme so schnell auf einander folgen läßt, daß sie sich gleichsam unmittelbar aneinanderschließen.

1. Elektrische Induktion.
(Volta-Induktion.)

227. a) Wenn man nach Faraday (1831) um einen Holzcylinder zwei gleiche, mit Seide umsponnene Kupferdrähte von 31 m und mehr Länge windet, die Enden des einen mit dem Multiplikator, die des andern mit einer galvanischen Batterie verbindet, so strömt zwar der galvanische Strom nur durch den mit ihr verbundenen Draht, aber dennoch entsteht auch ein galvanischer Strom in dem andern, neben ihm fortlaufenden, nicht mit der Batterie verbundenen Drahte; denn die Magnetnadel im Multiplikator gerät in Schwankungen, und zwar sowohl bei der Herstellung, als auch bei der Unterbrechung der Schließung der Batterie, jedoch nach entgegengesetzten Seiten, nie aber während der bestehenden Schließung. Von dem Strome nun, welcher in dem zum Multiplikator führenden Drahte durch die Nähe des den Verbindungsdraht der Batterie durchlaufenden galvanischen Stromes hervorgebracht wird, sagt man, er sei durch Induktion entstanden, er heißt der inducierte oder sekundäre Strom, auch der Nebenstrom, während der ihn erregende der inducierende oder primäre, auch der Hauptstrom genannt wird. Da bei der Öffnung der Kette die Abweichung der Magnetnadel entgegengesetzt ist der bei der Schließung stattfindenden, so haben die in diesen Momenten entstehenden Nebenströme auch entgegengesetzte Richtung, und vergleicht man die Abweichungen der Nadel, welche die Nebenströme hervorbringen, mit denen des Hauptstromes, so ergiebt sich: der Schließungsnebenstrom hat mit dem Hauptstrome entgegengesetzte, der Öffnungsnebenstrom aber dieselbe Richtung. Faraday denkt sich, daß durch den inducierenden Strom in dem unelektrischen Leiter, wie durch Verteilung zwei Ströme entstehen, von welchen der eine angezogen und unwirksam gemacht, während der andere in entgegengesetzter Richtung abgestoßen wird, und daß jener frei wird, wenn durch Öffnen des Hauptstromes derselbe vernichtet wird. Es entsteht auch ein Nebenstrom, wenn dem Hauptstrome ein geschlossener Leiter schnell genähert und wenn er von ihm entfernt wird. — Jeder inducierte Strom kann selbst wieder einen neuen Strom inducieren, so daß man inducierte Ströme erster, zweiter, dritter u. s. w. Ordnung unterscheidet.

Statt beide Drähte neben und über einander auf denselben Holzcylinder zu wickeln, kann man auch jeden Draht über einen besondern Cylinder wickeln, den Hauptdraht über einen dünneren, den Nebendraht über einen weiteren und zugleich hohlen, so daß dann der dünnere bequem in die Höhlung des weiteren hineingesteckt, und aus derselben herausgezogen werden kann. Wird nun der Hauptdraht mit der Batterie verbunden, so wird Einstecken, Herausziehen und

Ruhenlassen des dünneren Cylinders im weiteren genau dasselbe bewirken, was vorhin das Schließen, Öffnen und Geschlossenhalten der Batterie.

Um eine andauernde Wirkung der Nebenströme, die nur eine augenblickliche Dauer haben, hervorzubringen, ist es notwendig, den Hauptstrom oft und schnell hintereinander zu unterbrechen, damit sich die beim Schließen und Öffnen der Kette entstehenden augenblicklichen Nebenströme an einander reihen. Zu diesem Zwecke schaltet man in den Verbindungsdraht der Kette einen Stromunterbrecher ein, z. B. Neefs Blitzrad (1835), oder auch ein mittelst einer Kurbel leicht zu bewegendes Messingrädchen, dessen Messingachse in messingnen Ständern ruht, und so eingeschaltet wird, daß einerseits ein Ständer und andrerseits eine auf dem Holzgestelle befestigte, und mit ihrem freien Ende die Zähne des Rädchens berührende Feder in die Leitung kommt; die Unterbrechung des Stromes findet statt, indem die Feder von einem Zahne zum andern springt. Auch mit einer Feile kann man sich behelfen. Bei dem später zu besprechenden magnetischen Hammer wird der Hauptstrom durch den Apparat selbst unterbrochen.

b) Es erstreckt sich die inducierende Kraft des elektrischen Stromes nicht blos auf benachbarte geschlossene Leiter, sondern wunderbarer Weise auch auf den Leiter, den er selbst durchläuft. Wenn nämlich durch einen Leiter ein elektrischer Strom geführt, und sodann unterbrochen wird, so zeigt sich in diesem Leiter ein Nebenstrom von der Richtung des Hauptstromes; er wird von Faraday Extrastrom, von andern Physikern auch Gegenstrom genannt. Der Leiter verhält sich also gegen sich selbst, wie gegen einen benachbarten zweiten Leiter; es ist wie wenn er der Länge nach geteilt, und der eine Teil der Träger des Hauptstromes, der andere aber des Nebenstromes wäre. Dabei bemerkt man, daß die Wirkung beim Schließen der Kette viel schwächer als beim Öffnen derselben ist, was nur daher kommen kann, daß dort die beiden Ströme entgegengesetzte, hier aber dieselbe Richtung haben, dort sich also wechselseitig schwächen, hier aber sich verstärken.

Auf dem Extrastrom beruht die Erscheinung, daß ein einfaches Element durch einen kurzen Draht geschlossen, beim Öffnen nur einen schwachen, durch einen langen, spiralförmig gewundenen aber geschlossen, einen lebhaften Funken giebt — und daß man dem entsprechend, wenn man kurze Poldrähte selbst mit befeuchteten Händen und größeren Metallstücken, die an den Drähten befestigt sind, anfaßt, keine Erschütterung beim Öffnen der Kette empfindet, dagegen beim Gebrauch spiralförmig gewundener, langer Drähte eine heftige. Jede Windung induciert in den benachbarten Windungen Ströme, beim Schließen der Kette entgegengesetzte, beim Öffnen aber gleichgerichtete.

Um die elektrische Erscheinung des Extrastromes zu erhalten, braucht man nur den einen Pol der Batterie mit dem einen Ende der Spirale, den andern mit dem Stromunterbrecher, und diesen mit dem andern Ende der Spirale zu verbinden, und Nebendrähte mit Handhaben einerseits zwischen Batterie und Spirale, andererseits zwischen Stromunterbrecher und Spirale anzubringen, so daß sich also Batterie und Stromunterbrecher zwischen den Nebendrähten befinden.

228. a) Die Friktionselektricität ist zwar weniger geeignet zur Erzeugung von Nebenströmen als die Kontaktelektricität, indessen lassen sich Nebenströme auch bei ihr nachweisen, und zwar durch Entladung einer Batterie von Leidner Flaschen mittelst eines in einer Ebene spiralförmig gewundenen Kupferdrahtes, wenn sich ein zweiter mit übereinstimmenden Windungen ihm möglichst nahe so befindet, daß die Windungen beider Spiralen genau über oder neben einander zu liegen kommen. Ist die zweite Spirale die Nebenspirale, welche von der ersten, der Hauptspirale bei horizontaler Lage durch eine dünne Glasscheibe getrennt, oder wie diese bei senkrechter Lage auf einer Holzscheibe befestigt ist, an ihren Enden mit Handhaben versehen, so empfindet man bei jeder Entladung der Batterie durch die Hauptspirale eine Erschütterung, und bei hinlänglicher Annäherung der Enden der Nebenspirale werden auch Funken sichtbar. Rieß hat aus der Übereinstimmung der Lichtenbergschen Figuren, welche man einmal erhält, wenn man Drähte von den beiden Belegungen der Batterie nach einem Harzkuchen führt, und dann, wenn man hiezu den Nebenstrom anwendet, geschlossen, daß der Nebenstrom gleiche Richtung mit dem Hauptstrome hat. Der Nebenstrom muß die Folge des Aufhörens, nicht des Entstehens des Hauptstromes sein, da das Aufhören des letzteren so außerordentlich schnell auf sein Entstehen folgt, daß der beim Entstehen hervorgerufene entgegengesetzte Nebenstrom sich nicht bemerkbar machen kann.

b) Daß bei Entladung der Leidner Batterie durch eine solche Spirale in dieser auch ein Extrastrom entsteht, hat Dove nachgewiesen. Die Enden der Spirale treten zu diesem Behufe in längeren freien Drahtstücken heraus, an welche kurze Nebendrähte mit Handhaben angelötet sind, wodurch die Spirale zwischen die Nebendrähte zu liegen kommt. Wird die Batterie entladen, so empfindet man, die Handhaben haltend, eine Erschütterung, welche nicht stattfindet, wenn die Nebendrähte sich an demselben Ende der Spirale befinden, also diese außerhalb jener liegt. Der Hauptstrom wird, wie auch die Nebendrähte mit den Handhaben angebracht sein mögen, nicht empfunden, weil er dem besseren Leiter folgt; der in der Spirale entstandene Nebenstrom aber wird, wenn sie sich zwischen den Nebendrähten befindet, genötigt durch den Körper zu gehen.

2. Magnetische Induktion.

(Magneto-Induktion.)

229. 1) Wie ein galvanisches Element mittelst des durch den Leitungsdraht gehenden elektrischen Stromes die Magnetnadel des Multiplikators (§ 222) bewegt, so geschieht das auch nach Faradays 1831 gemachter Entdeckung, wenn in einen schraubenförmig gewundenen Leiter, dessen Enden mit dem Multiplikator verbunden sind, ein Magnet

etwa zur Hälfte mit dem einen Ende gesteckt und wieder herausgezogen wird, oder wenn, was dasselbe ist, ein so gewundener Draht über den Pol bis zur Mitte gesteckt und weggezogen wird — was ein Beweis ist, daß der Magnet in dem geschlossenen Drahte elektrische Ströme erzeugt, und daß mithin durch Magnetismus Elektricität hervorgebracht werden kann. Man nennt die durch Magnetismus hervorgebrachte Elektricität Magnetoelektricität, sowie alle dahin gehörigen Erscheinungen magnetoelektrische.

2) Der magnetoelektrische Fundamentalversuch läßt sich einfach so darstellen: Man windet einen etwa 20 m langen, mit Seide umsponnenen Kupferdraht um einen hölzernen Hohlcylinder, und läßt seine beiden Enden, oben und unten, in ungefähr 0,9 m langen Stücken frei, welche die Poldrähte heißen mögen. Werden nun die Enden dieser Poldrähte in metallische Berührung mit den Enden des Multiplikators gebracht, so weicht, wenn hierauf ein Stabmagnet in den Hohlcylinder, also auch in den Schraubendraht, schnell herabgelassen wird, die Magnetnadel sichtbar ab, z. B. nach Westen; läßt man aber den Magnetstab darin liegen, so werden die Schwingungen der Nadel immer kleiner, und hören endlich ganz auf; wird hierauf der Stab herausgezogen, so weicht die Nadel wieder ab, aber nach entgegengesetzter Seite, also nach Osten. Wird dasselbe Experiment mit der andern Hälfte des Magnetstabes wiederholt, so zeigen sich die Ablenkungen der Magnetnadel umgekehrt, also beim Hineinschieben nach Osten, beim Herausziehen nach Westen. Werden die Verbindungen der Drähte umgekehrt, so sind beim Gebrauch derselben Pole des Stabes die Abweichungen der Nadel umgekehrt, so wie sie genau dieselben sind, wenn man mit der Umkehrung der Drahtverbindungen auch den Gebrauch entgegengesetzter Pole verbindet. Ist die Verbindung, um einen bestimmten Fall zu nehmen, von der Art, daß das Multiplikatorende, welches mit dem oberen Poldrahte verbunden ist, zuerst in dem oberen Teile des Multiplikators von Norden nach Süden geht, und wird der Stabmagnet mit dem herabwärts gehaltenen Nordpole in den vertikal stehenden Schraubendraht gesteckt, so weicht die Magnetnadel nach Westen ab, und beim Zurückziehen nach Osten — also gerade so, wie wenn dasselbe Ende des Multiplikators zuerst mit dem —, dann mit dem + Pole eines Elements verbunden wäre. Wird die Verbindung der Poldrähte mit den Enden des Multiplikators umgekehrt, so zeigen die beim Hineinschieben und Zurückziehen des Nordpols des Stabmagneten stattfindenden entgegengesetzten Abweichungen der Magnetnadel auch entgegengesetzte Richtungen der nun entstandenen elektrischen Ströme, gerade wie wenn man die Enden des Multiplikators mit den verwechselten Polen eines Elementes verbunden hätte.

Wird der Südpol des Stabes gebraucht, so ist bei der ursprünglichen Verbindung der Drähte die Abweichung der Nadel beim Hineinschieben östlich, beim Zurückziehen westlich, bei der Umkehrung der Drahtverbindungen aber zuerst westlich, dann östlich. — Aus diesen

Abweichungen der Magnetnadel, welche das Vorhandensein und die Richtung elektrischer Ströme angeben, ziehen wir folgende Folgerungen: 1) Ein elektrischer Strom im Schraubendrahte und dadurch auch im Multiplikator entsteht nur beim schnellen Hineinschieben und Zurückziehen des einen Poles (bei der Annäherung und Entfernung desselben), nie aber wenn man ihn darin ruhen läßt. 2) Bei derselben Verbindung der Drähte bringt jeder Pol beim Entfernen einen Strom hervor, dessen Richtung entgegengesetzt ist der Richtung des beim Annähern entstandenen Stromes. 3) Bei derselben Verbindung der Drähte bringen Nordpol und Südpol, wenn sie beide hineingeschoben oder beide zurückgezogen werden, Ströme entgegengesetzter Richtung, wenn aber der eine hineingeschoben und der andere zurückgezogen wird, Ströme derselben Richtung hervor. 4) Entgegengesetzte Ströme werden aber auch durch gleichnamige Pole erzeugt, sowohl beim Hineinschieben, als auch beim Zurückziehen, wenn die Verbindung der Drähte umgekehrt wird; so wie Ströme von gleicher Richtung auch durch ungleichnamige Pole hervorgebracht werden, wenn bei entgegengesetzter Verbindung der Drähte beide hineingeschoben oder beide zurückgezogen werden.

Verstärkung der Schwingungen der im Multiplikator befindlichen Magnetnadel: a) durch wiederholtes Hineinschieben und Zurückziehen eines Poles des Stabmagneten; b) durch zwei Stabmagnete, welche mit gleichnamigen Polen gleichzeitig hinein- und herausbewegt werden; c) durch zwei Stabmagnete, deren ungleichnamige Pole benutzt werden, indem man sie abwechselnd hinein- und herausbewegt. Ebenso ist durch Bewegung des Stabes in den Schraubendraht und aus demselben Schwächung und Stillstand der in Schwingungen gebrachten Nadel zu bewirken.

Werden die Drähte des Multiplikators und des Schraubendrahtes nicht in unmittelbare Berührung gebracht, sondern mit einem Stromwender verbunden, so läßt sich die Umkehrung der Ströme genau so zeigen, wie beim Gebrauch eines Elements. Diese magnetoelektrischen Versuche, verglichen mit denen in § 227, veranlassen die Annahme, daß der Magnet Träger des Hauptstromes ist, wie dort die Hauptspirale, und die Spirale Träger des Nebenstromes, wie dort die Nebenspirale.

Der elektromagnetische Telegraph, bei welchem Multiplikatoren angewendet werden, wird zu einem magnetoelektrischen, wenn die Enden der Multiplikatordrähte, statt mit galvanischen Elementen, mit Schraubendrähten verbunden, und dann Magnete in der angegebenen Art angewendet werden.

230. 1) In Bezug auf den Erfolg ist es offenbar ganz gleich, ob in einen Schraubendraht ein Magnetstab schnell hineingeschoben und herausgezogen wird, oder ob sich ein Cylinder aus weichem Eisen darin ruhend befindet, und in diesem auf irgend eine Weise schnell Magnetismus erregt, und er dessen schnell wieder beraubt wird. Nobili windet um den aus weichem Eisen bestehenden Anker eines Hufeisenmagnets den Draht, und verbindet seine Enden mit dem Multiplikator, wodurch sich bei jedem Anlegen und Abnehmen des Ankers die Abweichungen der Magnetnadel zeigen. Der Hufeisenmagnet, der auch

ein Elektromagnet sein kann, verwandelt den Anker beim Anlegen in einen Magnet, und dieser bringt, indem er es wird, in dem um ihn gewundenen Drahte den elektrischen Strom hervor, der aber während des Anliegens verschwindet; beim Abreißen des Ankers wird derselbe unmagnetisch, und es muß ein elektrischer Strom entgegengesetzt dem beim Anlegen entstehen. Magnetische Funken werden sichtbar, sobald die Leitung des Drahtes irgend wo unterbrochen wird.

Die Stärke der durch Öffnen und Schließen galvanischer Ströme erzeugten Nebenströme wächst mit der Stärke des Hauptstromes und der Anzahl der Windungen beider Drahtrollen; ebenso die Stärke der durch Magnete erzeugten Nebenströme mit der Stärke des Magnetes und der Anzahl der Windungen. Von der Stärke der Nebenströme sind die magnetischen und chemischen Wirkungen (Wasserzersetzung) abhängig. Die elektrische Spannung oder Intensität der Nebenströme ist aber nicht allein von der Stärke abhängig, und wächst um so mehr, je geringer die Dauer des Induktionsstromes ist. Die physiologischen Wirkungen, ähnlich denen einer Leidner Batterie, und die kalorischen Wirkungen der Induktionsströme sind wesentlich von der elektrischen Spannung abhängig.

Benutzung der Induktionsströme bei den Geißlerschen Röhren und zur gleichzeitigen Sprengung mehrerer Minen; die isolierte Leitung muß in jeder Mine eine kleine Unterbrechungsstelle haben.

2) Wird eine Drahtspirale, in welcher sich ein Cylinder oder ein Drahtbündel aus weichem Eisen befindet, mit einer zweiten weiteren Spirale umgeben, und wird die erstere mit einer galvanischen Batterie verbunden, die letztere aber irgend wie geschlossen, z. B. durch einen eingeschalteten Multiplikator, so entsteht bei wiederholter Herstellung und Unterbrechung des Hauptstromes eine **Verbindung elektrischer und magnetischer Induktion** und dadurch eine Verstärkung der inducierten Elektricität. Die Hauptspirale, d. h. die innere engere, den Eisenkern einschließende Spirale wirkt einmal durch den galvanischen Strom nach außen auf die Nebenspirale, d. i. die äußere weitere Spirale, Ströme inducierend, und dann gleichzeitig nach innen, den Eisenkern magnetisierend. Die Hauptspirale bringt aber in der Nebenspirale auf zwei Arten Nebenströme hervor, nämlich zuerst durch den Hauptstrom, durch dessen Entstehen und Verschwinden und dann durch den beim Verschwinden des Hauptstromes entstehenden Extrastrom; der Eisenkern dagegen bringt, indem er Magnetismus erhält und verliert, in der Nebenspirale ebenfalls Ströme hervor, welche mit denen in ihr durch den Hauptstrom unmittelbar erzeugten übereinstimmen, so daß sich beim Entstehen des Hauptstromes zwei gleichgerichtete Ströme in der Nebenspirale vereinigen, deren Richtung der des Hauptstromes entgegengesetzt ist, und beim Verschwinden desselben sich ebenfalls zwei gleichgerichtete vereinigen, die aber viel stärker sind und mit dem Hauptstrome gleiche Richtung haben. Der Wirkung der beiden letzten vereinigten kräftigen Ströme tritt schwächend entgegen der in der Haupt-

spirale beim Aufhören des Hauptstromes entstehende Extrastrom, welcher in der Spirale, da er mit dem Hauptstrome gleich gerichtet ist, einen diesen Strömen entgegengesetzten erzeugt, dessen nachteilige Wirkung aber durch Ableitung beseitigt werden kann. Statt zwei getrennte Spiralen zu brauchen, kann man auch zwei neben einander laufende Drähte um einen hölzernen Hohlcylinder wickeln und in dessen Höhlung einen Eisenkern bringen.

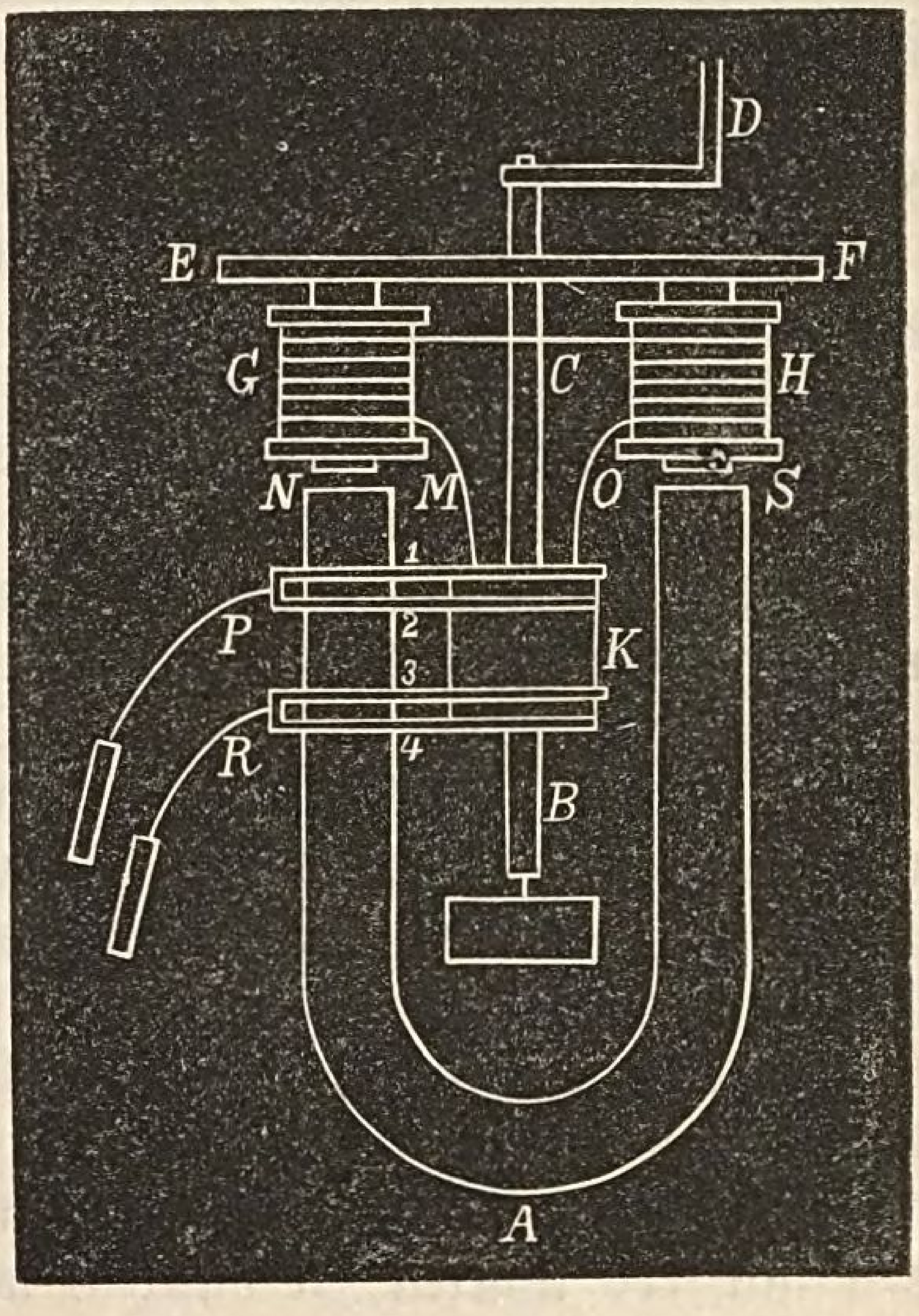
3. Induktionsapparate.

231. Man unterscheidet Induktionsapparate, in denen die elektrischen Ströme nur durch magnetische, und solche, in denen sie durch elektrische und magnetische Induktion erregt werden; jene, die man gewöhnlich magnetoelektrische Rotationsapparate nennt, haben vor diesen, den Apparaten mit doppelten Strömen, welche den Gebrauch einer Batterie erfordern, den Vorzug, daß die Anwendung von Säuren nicht stattfindet.

1) Zu Stöhrers einfachstem Rotationsapparat mögen hier folgende erklärende Andeutungen stehen:

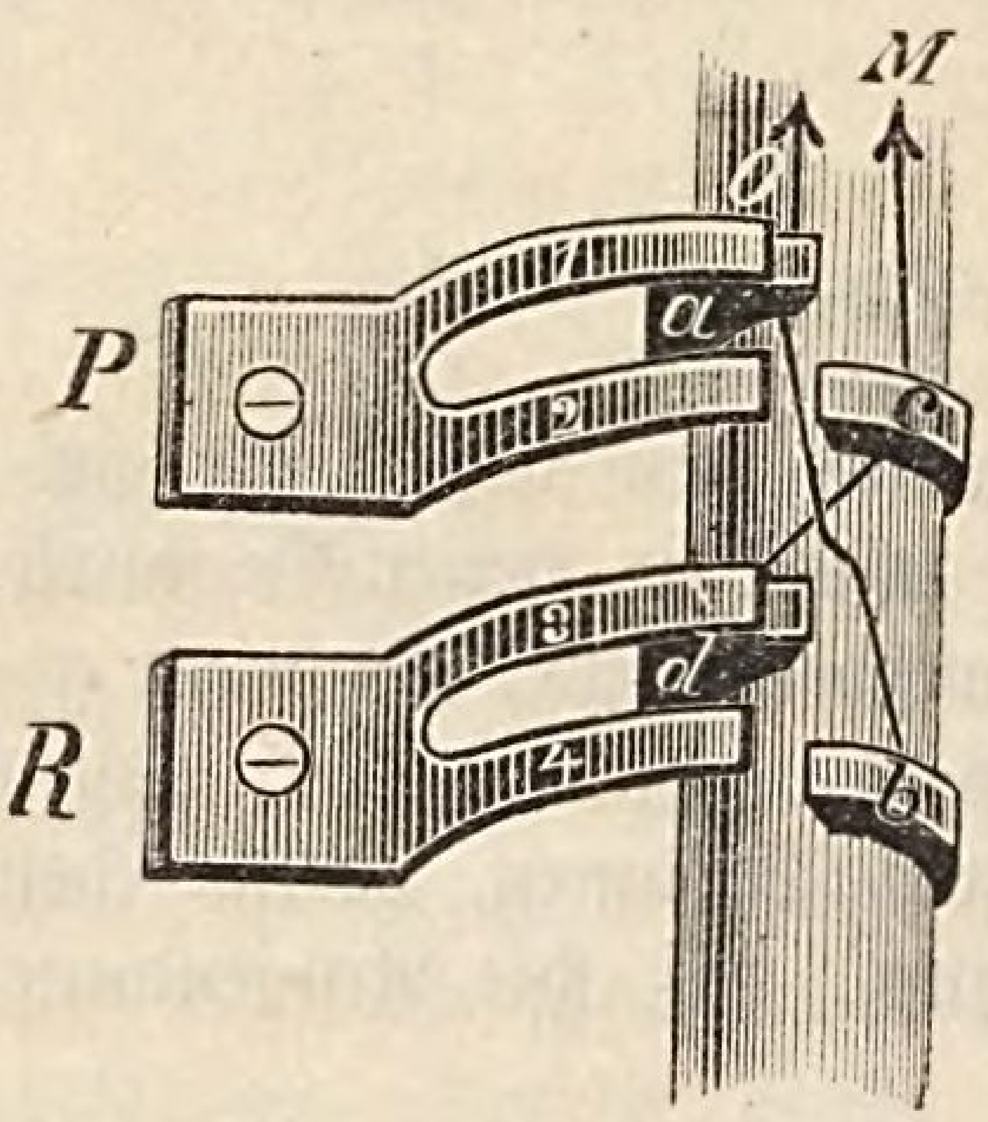
a) Die wesentlichsten Teile in Figur 139 sind: N A S ein kräftiger Stahlmagnet, N sein Nordpol, S sein Südpol; zwischen den Füßen des Magnets und außerhalb derselben hervortretend die Stahlachse B C, welche durch einen über zwei ungleich große Scheiben angebrachten Schnurlauf, wofür hier stellvertretend die Kurbel D steht, in schnelle Umdrehung gebracht werden kann. Die Achse trägt an ihrem äußeren Teile die Eisenplatte E F, in welcher zwei Cylinder aus weichem Eisen umgeben von den Induktionsspiralen G und H sich in solcher Entfernung von einander befinden, daß die Enden der Cylinder bei statt findender Rotation genau und dicht vor den Magnetpolen vorbeikommen. Der Magnet ist verschiebbar, so daß durch größere Annäherung desselben an die Eisencylinder die Wirkung des Apparats vermehrt werden kann. Die Achse trägt ferner auf ihrem inneren Teile den Stromwender k, welcher einmal mit den Enden M und O des die beiden Spiralen bil-

Figur 139.



denden Induktionsdrahtes in unveränderlicher, und dann auch mit den gabelförmig gespaltenen Stahlfedern P und R, welche als die Pole des Apparates zu betrachten sind, in veränderlicher Art leitend verbunden ist, siehe Figur 140. Der Stromwender besteht aus zwei auf der Achse befestigten, durch eine Buchsbaumröhre isolierten messingnen Röhren, von denen die innere länger als die äußere ist, und daher an den beiden Enden hervortritt; mit der inneren ist das Drahtende O, mit der äußeren das Drahtende M verbunden. An den Enden jeder Röhre sind zwei stählerne sich so gegenüberliegende Halbringe, daß, wenn sie zu ganzen Ringen vervollständigt würden, diese neben einander liegen würden, bei der inneren Röhre z. B. a und b, bei der äußeren c und d; es reichen b und c von 0°—180°, a und d von 180°—360°. Die gabelförmig gespaltenen Stahlfedern P und R schleifen mit ihren Schenkeln 1, 2, 3, 4 auf diesen Halbringen, und zwar durch die erste halbe Peripherie 2 und 4 auf c und b, durch die zweite (wie in der Figur) 1 und 3 auf a und d.

Figur 140.



b) Bei stattfindender Rotation der Induktionsspiralen geht die entstandene kräftige Elektricität immer in derselben Richtung durch den zwischen den Stahlfedern P und R eingeschalteten Körper, und bringt alle Wirkungen hervor, welche wir bei den Batterien kennen gelernt haben. Diese Rotationsapparate bewirken wie die galvanischen Batterien kräftige Schläge, die schon bei kleineren Apparaten unangenehm, bei größeren gefährlich sind, bedeutende Licht- und Wärmeerzeugung, Schmelzen und Glühen von Metallen, Glühen der Kohle, Zersetzung des Wassers u. s. w. Noch kräftiger wirken sie, wenn der Stahlmagnet durch einen Elektromagnet ersetzt wird, und dienen dann (gewöhnlich in Verbindung mit einer Dampfmaschine von mehreren Pferdekräften) auch zur Erzeugung des in neuerer Zeit immer häufiger angewendeten elektrischen Lichtes (Siemens).

c) Daß die Richtung des Stromes zwischen den Drahtenden bei P und R unverändert bleibt, ist so einzusehen: Bei der Drehung von 0° bis 180° bleibt die Richtung des Stromes in den Drahtrollen unverändert, und es schleifen die Federn 2 auf c und 4 auf b; der Strom möge von c und 2 über P und R nach 4 und b gehen. Bei 180° wird die Richtung des Stromes in den Drahtrollen umgekehrt, weil nun G und S, ebenso H und N einander gegenüberstehen, anstatt wie am Anfange G und N, so wie H und S. Während aber früher P durch c und 2 mit der äußeren, R durch 4 und b mit der inneren Röhre verbunden waren, steht jetzt (wie in Figur 139) P durch a und 1 mit der inneren, R durch 3 und d mit der äußeren Röhre in

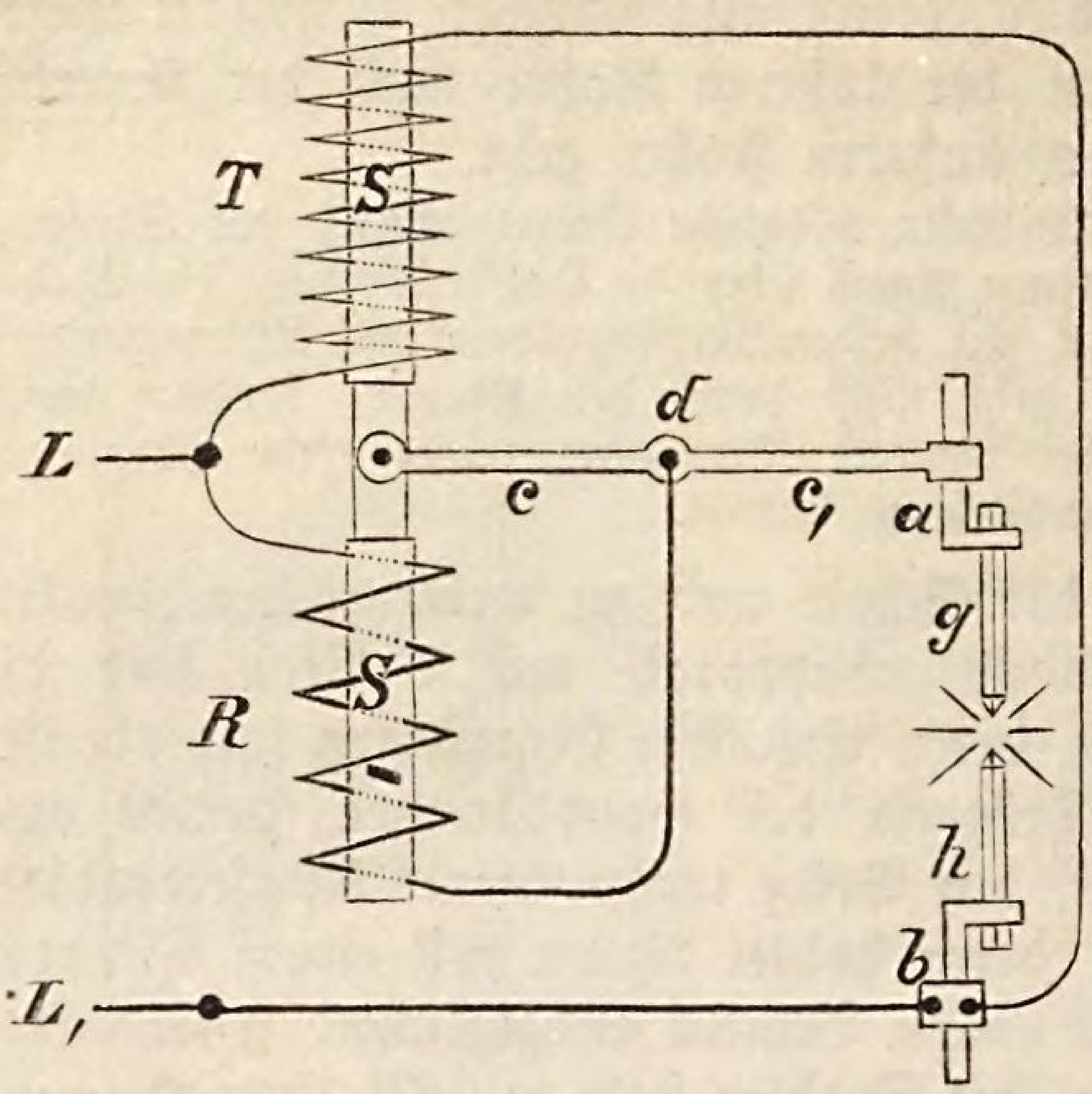
Verbindung, der Strom geht also wieder über a und 1 von P nach R, und von da nach 3 und d, bleibt also zwischen P und R ungeändert, obgleich er zuerst von der äußeren Röhre nach der inneren, dann von der inneren nach der äußeren Röhre geht.

Um Behufs physiologischer Wirkung plötzliche Unterbrechung des Stromes hervorzubringen, gehen die Stahlringe etwas über die Hälfte hinaus; die Stahlringe stehen daher einen Augenblick mit beiden Messingröhren des Stromwenders in Verbindung, und der Strom geht nicht durch den Körper, sondern durch das besser leitende Metall, bis bei weiterer Bewegung wieder jede Stahlfeder nur mit einer Messingröhre in Verbindung kommt.

2) Die zu Versuchen in der Schule und zu medizinischen Zwecken am meisten angewendeten Induktionsapparate mit Batterie sind die von Ruhmkorff konstruierten, deren einfachste Einrichtung folgende ist:

Die innere Rolle, die Trägerin des Hauptstromes, besteht aus vielen Windungen eines dicken, mit Seide umsponnenen Kupferdrahtes, gewickelt um eine Pappröhre, deren hohler Raum mit einem Cylinder von weichem Eisen, oder mit einem Bündel ausgeglühter Eisendrähte angefüllt ist. Das eine Ende c des Drahtes steht mittelst einer Klemmschraube a in Verbindung etwa mit dem + Pole einer galvanischen Batterie, während das andere Ende d an den magnetischen Hammer angelötet ist. Dieser kann einfach aus einer elastischen Messingfeder bestehen, deren eines Ende, welches dem Eisencylinder gegenübersteht, mit einer Platte von weichem Eisen belegt ist. Dieser Hammer wird berührt von einer Messingschraube, die ihm nach Erfordernis genähert werden kann, und mit dieser Schraube ist ein zweiter Kupferdraht leitend verbunden, der nach einer zweiten Klemmschraube b führt, die mit dem — Pol der Batterie verbunden wird. Die Hauptrolle liegt in einer Glasröhre, um welche die Induktionsspirale gewickelt ist, die aus feinem mit Seide umsponnenen Kupferdraht besteht, der bei großen Apparaten eine Länge von 20 bis 100 km hat. Die Enden der Induktionsrolle sind mit zwei über derselben befindlichen Klemmschrauben verbunden, durch die der inducierte Strom beliebig weiter geleitet werden kann. Beide Rollen werden durch zwei Glasplatten zusammengehalten, die in der Mitte zwei Öffnungen haben, durch die der Eisenkern hervorragt. — Stellt man die Messingschraube so, daß sie den Hammer berührt, so geht der Strom vom + Pole der Batterie durch die Windungen der Hauptrolle nach dem Hammer, und von diesem nach dem — Pole. Durch den Strom wird aber der Eisenkern magnetisch, zieht den Hammer an, und unterbricht so den Strom; dadurch wird der Eisenkern unmagnetisch, der elastische Hammer berührt wieder die Messingschraube, und stellt so den Strom wieder her u. s. w. Auf diese Weise folgen Schließung und Unterbrechung des Stromes so schnell auf einander, daß man die einzelnen Schwingungen des Hammers weder mit dem Auge noch mit dem Ohre von einander unterscheiden kann, und dadurch entstehen sehr kräftige Ströme in der Induktionsrolle.

Figur 141.

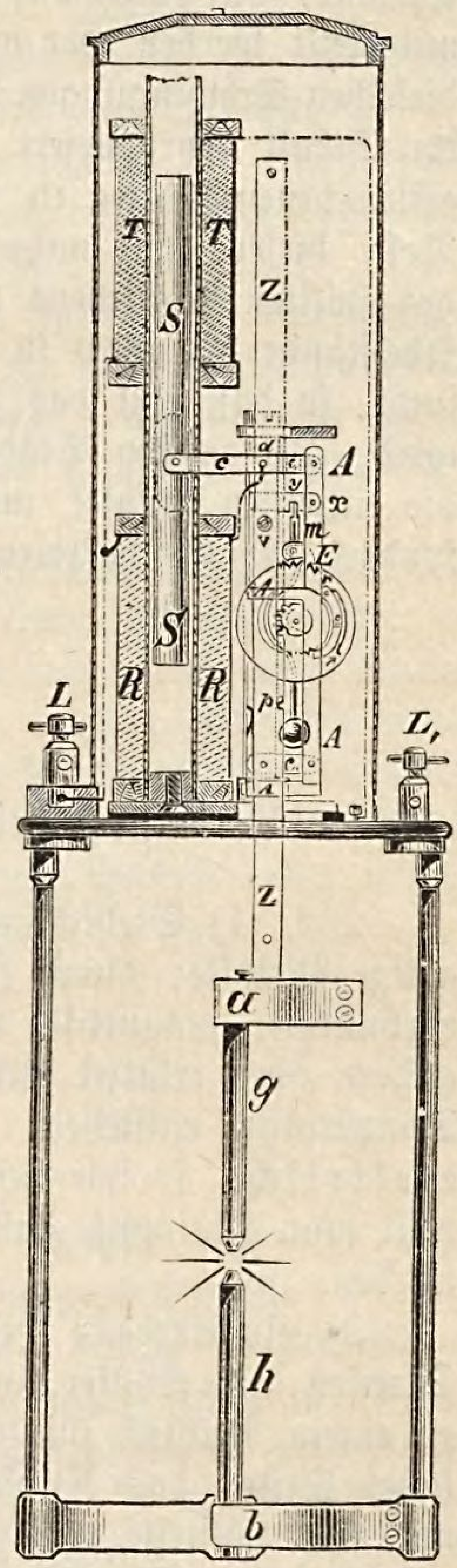


3) Durch größere dynamoelektrische Maschinen (Siemens und Halske, Pacinotti, v. Hefner-Alteneck) wurde das Problem der Stromerzeugung durch Arbeitskraft (Dampfmaschine) in sehr vollständiger Weise gelöst, und dadurch die Einführung des elektrischen Lichtes gefördert. Die Hauptschwierigkeit bestand noch darin, daß jede Maschine nur ein Licht von großer Leuchtkraft erzeugte. Es kam darauf an dieses Licht zu teilen, und dies gelang zuerst durch die Jablochkoffschen Kerzen, die aus zwei parallel neben einander liegenden Kohlenstäben bestehen, mit einer trennenden Zwischenlage von Gips, wobei sich die Kohlen und der Gips gemeinsam und gleichmäßig verzehren, wie eine gewöhnliche Kerze aus Stearin. Von diesen Kerzen können 4 bis 5 in denselben Leitungskreis eingeschaltet werden, wenn man Ströme mit wechselnder Richtung in Anwendung bringt. Diese Kerzen leiden aber an dem Mangel, daß alle Kerzen erlöschen, wenn eine ausgeht, oder wenn die treibende Maschine nicht ganz gleichmäßig arbeitet, und daß sich dieselben nicht von selbst wieder anzünden. Diesen Mängeln hülft die Differentiallampe von Siemens ab; sie regelt nämlich die Entfernung der Kohlenspitzen wie folgt: Der Hebel cc, (Figur 141) ist um den festen Punkt d drehbar, und trägt an dem Arme c, den Kohlenhalter a, an dem andern einen Eisenkern S, der zwischen den beiden Spulen T und R beweglich ist. Sind die beiden Kohlenspitzen g und h so weit von einander entfernt, daß der Strom durch sie nicht hindurch gehen kann, so hat nur die aus sehr dünnem Drahte und vielen Windungen bestehende Spule T Strom, sie zieht also den Eisenstab S in sich hinein, so daß der andere Hebelarm c, seine tiefste Stellung erhält, und die Kohlenspitzen g und h sich berühren. Der Strom geht jetzt durch die aus starkem Drahte hergestellte Spule R, während T fast stromlos wird, und R zieht den Stab S an sich, so daß die Kohlenspitzen sich von einander entfernen, indem sich der Hebelarm c, hebt, und das elektrische Licht zwischen g und h übergeht. Wird die Entfernung zwischen g und h durch Abbrennen der Kohle zu groß, so erhebt sich sofort wieder der Stab S und c, senkt sich, weil nun T mehr Strom als R erhält, so daß die Entfernung der Kohlenspitzen durch den Strom selbst reguliert wird. Wird außerhalb der Lampe der Strom irgend wie geändert, so bringt dies in der Lampe keine Veränderung hervor, weil die Stromstärke in den Spulen

R und T gleich viel geändert wird. In Figur 140 sind des leichteren Verständnisses wegen einige Teile der Differentiallampe weggelassen, während Figur 142 alle Teile der Lampe enthält. (Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre 1880).

Der allgemeineren Benutzung der elektrischen Kraft steht bis jetzt noch der Übelstand entgegen, daß durchschnittlich nicht mehr als 50 bis 60 % dieser Kraft sich als Nutzeffekte übertragen lassen, so daß fast die Hälfte zur Überwindung der Maschinen- und Leitungswiderstände verbraucht und in Wärme verwandelt wird. Mit den größten Maschinen sind bis zu zehn Pferdekräfte übertragen worden. (Aprilheft der Elektrotechnischen Zeitschrift 1881).

Figur 142.



Auf elektrischen Strömen, welche ein Magnet in Metallscheiben durch Induktion hervorbringt, beruhen die Erscheinungen des sogenannten Rotationsmagnetismus, über den hier nur Folgendes stehen mag: 1) Versetzt man eine Magnetnadel zuerst unter gewöhnlichen Umständen in Schwingungen, dann aber über einer ruhenden Kupferscheibe, so zeigt sich, daß diese auf die Bewegung jener hindernd einwirkt, denn die Weite der Schwingungen nimmt auffallend stark ab, ohne daß die Dauer der Schwingungen sich merklich ändert. 2) Eine rotierende Kupferscheibe bringt eine über sie gestellte ruhende Magnetnadel in Rotation, selbst wenn sie zur Abhaltung der Luftbewegung durch eine Glastafel getrennt sind. 3) Ein aufrecht stehender rotierender Hufeisenmagnet bringt eine über ihm freihängende Kupferscheibe in Rotation. 4) Zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten läßt sich ein Kupferwürfel sehr schwer in Drehung versetzen, als ob er sich in einem widerstehenden (dickflüssigen) Mittel bewegte. (Arago 1825, Herschel, Babbage).

Auch die Erscheinungen des Diamagnetismus (§ 198) beruhen wohl auf in den Körpern durch die Annäherung an die Magnetpole inducierten elektrischen Strömen in der Art, daß in den magnetischen Körpern Ströme derselben Richtung, in den diamagnetischen dagegen Ströme entgegengesetzter Richtung in Bezug auf die Ströme der Magnetpole entstehen.

4) Das Telephon von Bell (1876) besteht aus zwei ganz gleich konstruierten Hör- und Sprachrohren, in deren Mitte je ein starker Magnet befestigt ist, dessen eines Ende zu einem dünneren Cylinder abgedreht ist, welchen ein Multiplikator umgiebt. Die beiden Multiplikatoren stehen durch Drähte, die in jeder Station in Klemmschrauben befestigt sind, mit einander in Verbindung, wobei wieder ein Draht durch die Erde ersetzt werden kann. In jedem Rohre ist ganz

nahe an dem abgedrehten Ende des Magnets ein dünnes, rundes, elastisches Eisenplättchen befestigt, welches durch den Magnet auch in einen Magnet verwandelt ist. Spricht man nun in einer Entfernung von etwa 10 cm langsam gegen das eine Eisenplättchen, und versetzt dasselbe dadurch (wie das Trommelfell des Ohres) in Schwingungen, so entstehen in dem in der Nähe befindlichen Multiplikator elektrische Ströme, die durch die Drähte dem Multiplikator der andern Station mitgeteilt werden, der nun das in seiner Nähe befindliche Plättchen in dieselben Schwingungen versetzt, die das erste Plättchen macht, wodurch der Schall reproduciert wird. Will man die in der ersten Station gesprochenen Worte in der zweiten Station hören, so muß man das Rohr dieser ganz nahe an das Ohr halten, weil die Schwingungen des zweiten Plättchens viel schwächer sind, als die des ersten. Diesem Übelstande hat man in neuester Zeit nicht ohne Erfolg abzuhelfen versucht, so daß jetzt das Telephon vielfach statt des Telegraphen benutzt wird. In großen Städten wird es immer mehr eingeführt, um auch die einzelnen Häuser mit einander in Verbindung zu setzen, was besonders für Geschäftsleute vorteilhaft ist.

IV. Thermoelektricität und tierische Elektricität.

232. 1) Seebeck machte 1822 die Entdeckung, daß zwei verschiedenartige Metalle, durch Zusammenlöten mit einander zu einem Viereck verbunden, magnetisch werden, wenn die eine Lötstelle erwärmt, die andere aber erkältet wird, überhaupt wenn Lötstellen von ungleicher Temperatur entstehen. Diese Erscheinungen nennt man thermoelektrische, so wie den Inbegriff derselben. Thermoelektricität, weil man annimmt, daß die Drähte durch elektrische Ströme magnetisch werden.

2) Zu Seebecks thermoelektrischem Fundamentalversuche lötet man Streifen aus Kupfer und Wismut, oder aus Kupfer und Antimon so zu einem Rechteck zusammen, daß der Wismut oder der Antimon eine lange Seite, das Kupfer aber die übrigen drei Seiten bildet. Wird nun eine Lötstelle erwärmt, so weicht eine innerhalb aufgestellte Magnetnadel ab. Die Wärme der Fingerspitzen bewirkt schon eine kleine Abweichung, die einer Spirituslampe aber in kurzer Zeit eine Ablenkung von 50 bis 80 Graden. Indem man dabei die erhaltenen Abweichungen mit denen der Voltaschen Kette, in welcher der elektrische Strom vom negativen Metalle (Kupfer) durch den Schließungsdraht zum positiven Zink geht, vergleicht, läßt sich bestimmen, welches der beiden Metalle bei der Erwärmung negativ, welches positiv elektrisch wird, d. h. welches sich wie Kupfer und welches sich wie Zink in der Voltaschen Kette verhält. Der Seebecksche Fundamentalversuch läßt

sich vollständig so anstellen: a) Ist das Viereck aus Wismut und Kupfer, hält man die Wismutseite nach unten (Figur 143, 1) und erwärmt die nach Süden liegende Lötstelle, so weicht die Magnetnadel westlich ab; der elektrische Strom geht also in der erwärmten Stelle vom Wismut nach dem Kupfer; der Wismut ist also negativ- und das Kupfer positiv-elektrisch geworden — wird die nach Norden liegende Lötstelle erwärmt, oder das Viereck so umgewendet, daß die erwärmte südliche Lötstelle nach Norden zu liegen kommt, so ist zwar die Abweichung östlich, aber die Folgerung hinsichtlich der Richtung des Stromes und der Elektricität der Metalle ist dieselbe. Wird die Wismutseite des Vierecks nach oben gehalten, so ist die Abweichung im ersten Falle östlich, im zweiten westlich. b) Wird in irgend einer dieser Lagen des Vierecks die eine Stelle durch Wasser oder Eis erkaltet, so ist die Abweichung immer entgegengesetzt derjenigen, welche bei Erwärmung dieser Stelle in derselben Lage stattfand, weil die nicht erkaltete Lötstelle die relativ warme ist. c) Wird die eine Stelle erwärmt und gleichzeitig die andere erkaltet, so ist in Folge der größeren Temperaturdifferenz auch die Wirkung größer.

Besteht das Viereck aus Antimon und Kupfer, so zeigen die Abweichungen der Magnetnadel, daß der elektrische Strom in der erwärmten Stelle vom Kupfer nach dem Antimon geht, also Kupfer negativ-, und Antimon positiv-elektrisch wird; sind endlich die beiden Elemente dieses Vierecks Wismut und Antimon, so sind die Abweichungen, mithin auch die Stromstärke, viel größer, und Wismut zeigt sich als das negativ-, Antimon als das positiv-elektrische Metall. Der Erfolg dieser Versuche läßt sich so versinnlichen:

—	Wismut ↑	)	—
	↑ Kupfer		+
+	Antimon ↓	)	+

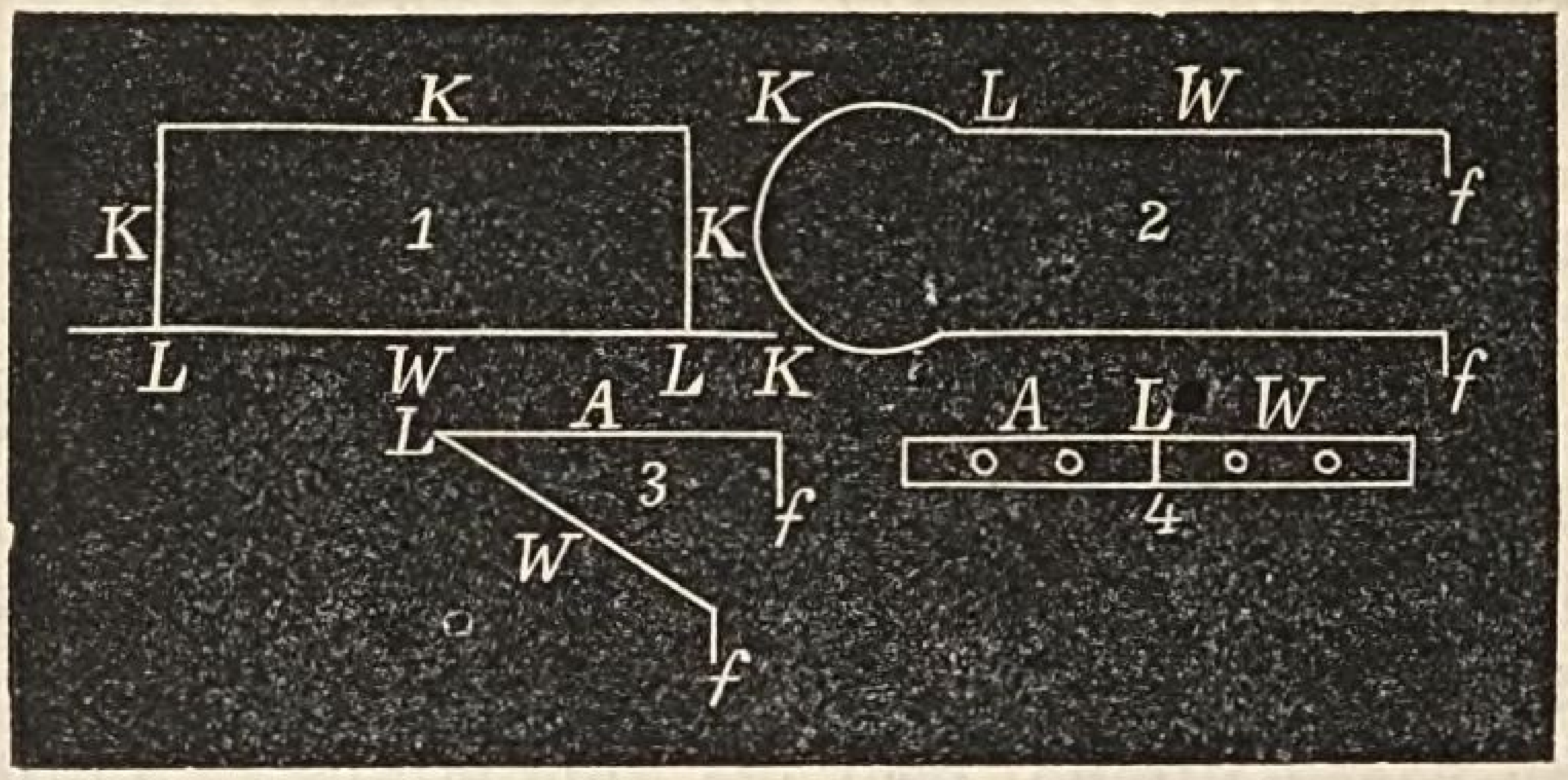
Auch bei Vierecken aus einem einzigen Metalle, an dem einen oder dem andern Ende erwärmt, zeigt sich Thermoelektricität.

3) Die thermoelektrische Spannungsreihe, welche die Metalle in solcher Anordnung angiebt, daß bei der Erwärmung jedes in Verbindung mit den folgenden negativ, mit den vorhergehenden aber positiv elektrisch wird, und zwar desto stärker elektrisch, je weiter die beiden Metalle auseinander sind, ist nach Seebeck folgende: (—) Wismut, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin (reines), Uran, Kupfer (ganz reines), Mangan, Titan, Messing, Dukatengold, Kupfer (gewöhnliches), Quecksilber, Blei, Zinn, Platin (Jeanettys), Chrom, Molybdän, Kupfer (gemeines), Rhodium, Iridium, Gold, Silber, Zink, Cämentkupfer, Wolfram, Platin, Kadmium, Stahl, Eisen (reines), Arsenik, Antimon, Tellur (+).

4) Nennen wir zwei zusammengelötete verschiedenartige Metalle eine thermoelektrische Kette, so können wir, wie bei der Volta-

schen Kette, eine geschlossene und offene thermoelektrische Kette unterscheiden von welchen Figur 143 einige Formen angiebt. Es bedeutet darin K Kupfer, W Wismut, A Antimon, L Lötstelle, f und f senkrecht angelötete kurze Stäbchen oder Füßchen, und die kleinen Kreise bedeuten Vertiefungen in dem ziemlich dicken Stabe. Wird durch den Multiplikator, innerhalb dessen sich eine Magnetnadel befindet, und durch einen Stromwender die offene Kette geschlossen, so lassen sich auch hier, wie bei der Voltaschen Kette und der magnetoelektrischen Spirale, alle auf der Umkehrung des Stromes beruhenden Erscheinungen hervorrufen.

Figur 143.



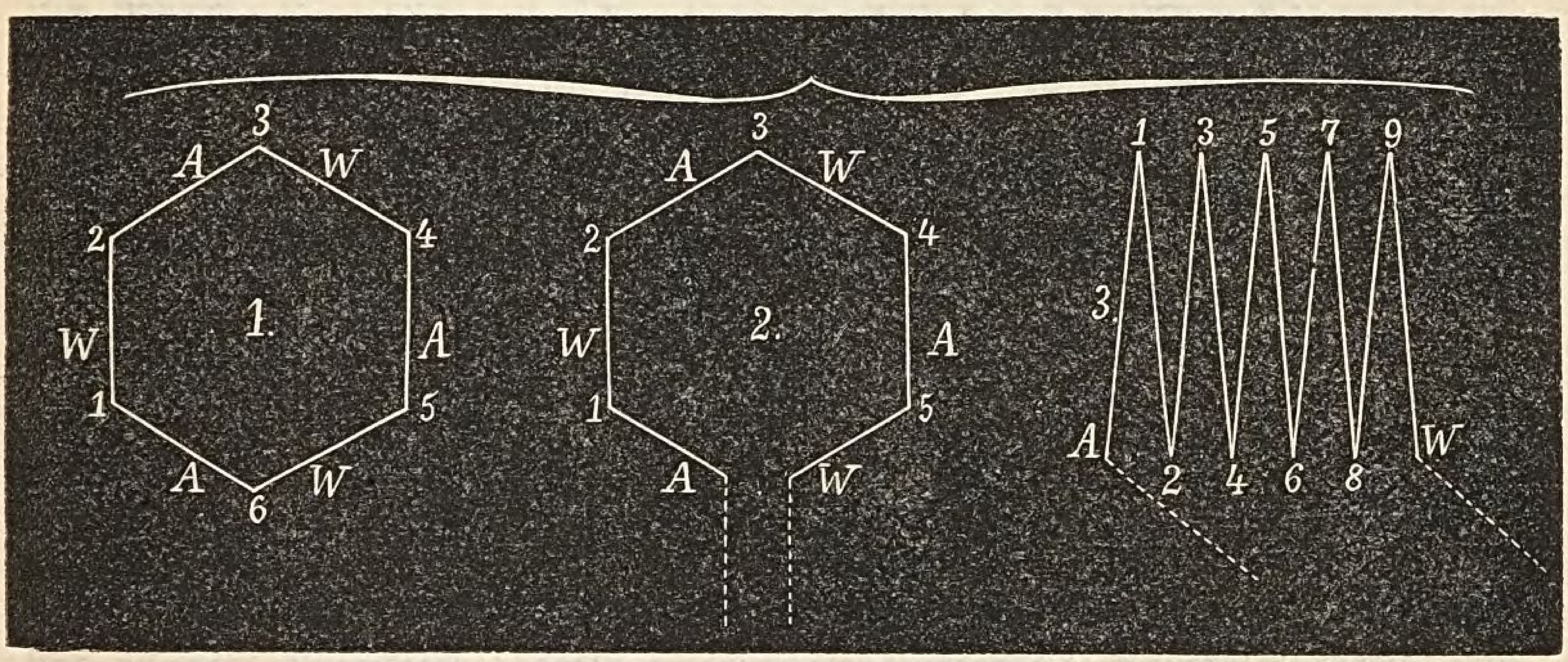
Für bedeutende Hitzegrade eignen sich thermoelektrische Ketten aus Platin und Eisen; für weniger hohe die wohlfeileren aus Neusilber und Eisen.

233. 1) Wie aus einfachen Voltaschen Ketten die Voltasche Batterie entsteht, so entsteht auch aus einfachen thermoelektrischen Ketten die thermoelektrische Batterie. Man erhält schon eine solche, wenn mehrere Paare von denselben zwei verschiedenartigen Metallen, z. B. Antimon und Wismut, in der Ordnung A. W. A. W. u. s. w. an einander in ein Vieleck zusammengelötet werden. Aus je mehreren Paaren ein solches Vieleck besteht, desto größer sind die Abweichungen der Magnetnadel, wenn Lötstellen in der Art erwärmt werden, daß stets eine übersprungen wird, und außerdem eine Seite des Vielecks im magnetischen Meridiane liegt. Statt der Erwärmung kann man sich auch der Erkältung bedienen, und, beide auf einmal angewendet, in der Art, daß immer die eine Lötstelle erwärmt und die darauf folgende erkaltet wird, geben die stärksten Ablenkungen der Magnetnadel.

2) Auch die zusammengesetzte thermoelektrische Kette kann geschlossen und offen sein, wie Figur 144, 1 und 2 zeigen. Statt die Glieder der offenen in ein Vieleck, wie in 2 zu ordnen, kann man sie auch auf mehrere andere Arten zusammenstellen, z. B. wie in 3, wo Stäbchen von Antimon- und Wismut so neben einander in einer Richtung liegen, daß sie bei 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w. zusammengelötet, sonst aber überall durch Seide oder Firnis von der unmittelbaren Berührung abgehalten werden. Bei dieser zusammengesetzten Kette, welche thermoelektrischer Kamm heißen kann, findet die Erwärmung bequem bei 1, 3, 5, 7, 9 statt, wodurch die dazwischen liegenden Lötstellen 2, 4, 6, 8, welche sich auf der entgegengesetzten Seite befinden, übersprungen werden. Die beiden äußersten Enden A und W

werden mittelst der daran gelöteten Drähte unmittelbar oder durch den Stromwender mit dem Multiplikator verbunden. Eine andere Einrichtung, aber auf denselben Grundsätzen beruhend, hat die sogenannte thermoelektrische Säule von Nobili und Melloni. Sie ist eine Verbindung von vielen Paaren von Stäbchen aus Wismut und Antimon, die sich neben einander in einem Bündel, cylinder= oder strahlenförmig mit abwechselnd zusammengelöteten Enden befinden, und von denen die beiden äußersten mit Kupferdrähten versehen sind. Die Batterie wird nun entweder mit der einen Gruppe von Lötstellen in eine hölzerne Büchse eingesenkt, so daß nur die andere sichtbar wird, oder sie ist in einem niedern metallenen Hohlcylinder, von dessen innerer Seite isoliert, so befestigt, daß die Lötstellen beider Enden frei hervortreten. Bei gleicher Temperatur der beiden Gruppen von Lötstellen bleibt die Magnetnadel des mit der Batterie verbundenen Multiplikators in Ruhe, gerät aber bei der geringsten Temperaturdifferenz derselben

Figur 144.



sogleich in Schwankungen. Die thermoelektrische Batterie bildet mit dem Multiplikator das empfindlichste Thermoskop, das vorzüglichste Differentialthermometer. Melloni bediente sich derselben bei seinen Versuchen über die Wärmestrahlung (§ 187), wobei freilich noch manche Nebenvorrichtungen, z. B. zur Abhaltung der Wärmestrahlen von der Seite, zur bequemen Anbringung der zu untersuchenden Körper &c., nötig sind. Größere thermoelektrische Säulen bewirken nicht blos sehr lebhafte Abweichungen der Magnetnadel, sondern auch, wie schwache Voltasche Säulen: Funken, Magnetisierung von Stäben und Hufeisen, Rotationen, Zersetzung von Wasser und Salzen.

234. Peltier hat 1834 gezeigt, daß ein elektrischer Strom in einem Leiter, der aus zwei aneinander gelöteten verschiedenen Metallen, etwa Antimon und Wismut, besteht, bald Wärme, bald Kälte erzeugen kann, während man doch sonst aus den Glühversuchen nur seine erwärmende Kraft kannte. Wird ein Wismutstäbchen mit einem Antimonstäbchen zusammengelötet, das Ganze durch die eine Kugel eines

Luftthermoskops luftdicht geführt und die außerhalb sich befindenden Enden mit einer Voltaschen Kette verbunden, so weiset das Thermoskop eine Erhöhung der Temperatur der Lötstelle und dadurch der sie umgebenden inneren Luft nach, wenn der hindurch geleitete elektrische Strom vom Antimon zum Wismut geht, eine Erniedrigung der Temperatur bei der entgegengesetzten Richtung des elektrischen Stromes.

Peltiers und Lenz' Kreuz aus Antimon und Wismut dient, mit Zuziehung eines Multiplikators, die Temperatur der Lötstelle nachzuweisen; so wie ein größerer Stab aus Antimon und Wismut, nach Lenz mit Vertiefungen versehen, mittelst der durch eine Voltasche Kette in der Lötstelle erzeugten Kälte Wasser in Eis zu verwandeln.

Da Galvani seine erste Entdeckung (§ 214) an Zuckungen von Froschschenkeln machte, stellte er die Hypothese einer eigentümlichen tierischen Elektricität auf. In neuester Zeit hat Du Bois-Reymond elektrische Muskelströme, die bei jeder Bewegung entstehen, und Nervenströme nachgewiesen. — Einige Fische haben die Eigenschaft elektrische Schläge zu erteilen: der Zittterwels (malapterurus electricus), der Zitteraal (gymnotus el.), der Zitterochen (raja torpedo), welche Tiere ein aus vielen Säulchen bestehendes, durch eine schleimige Flüssigkeit verbundenes, analog der Voltaschen Säule wirkendes Organ haben.

Der innige Zusammenhang zwischen Magnetismus, Elektricität, Licht und Wärme ist unleugbar; aber welcher Art er sei, können wir, trotz der größten Fortschritte in diesen Teilen der Physik, noch nicht mit Bestimmtheit sagen. Die Elektricität bringt magnetische Erscheinungen hervor, der Magnetismus elektrische, und deshalb könnte beiden Arten von Erscheinungen dieselbe Naturkraft zu Grunde liegen, so daß also Elektricität und Magnetismus nur verschiedene Äußerungen derselben Kraft wären. Wo die Elektricität durch nicht hinlänglich leitende Körper geht, erzeugt sie Wärme und Licht, welche vielleicht eine Vereinigung beider Elektricitäten sind, und umgekehrt durch Wärme und Licht wird Elektricität und dadurch Magnetismus hervorgerufen. — Der Erdmagnetismus ist wohl eine Folge der Thermoelektricität; Ampère meint, die Sonne bringe in der durch sie ungleich erwärmten Erde elektrische Ströme hervor, welche in ihr, sie von Osten nach Westen parallel mit dem magnetischen Äquator umkreisend, den Magnetismus erregen. (§ 223, 7).

Elfter Abschnitt.

Das Wichtigste aus der Chemie.

235. Alle Erscheinungen der Körper, die eine Veränderung der Materie zur Folge haben, heißen chemische Erscheinungen, und der Inbegriff derselben ist die Chemie. Hier stehen nur die wichtigsten Lehren derselben, welche die Physik nicht entbehren kann.

236. Chemische Anziehung (Wahlanziehung, Verwandtschaft, Affinität) ist die Anziehung verschiedenartiger Körper, durch welche sie sich so innig wechselseitig durchdringen, daß ein neuer, durchgängig gleichartiger Körper entsteht. Eine solche Verbindung ungleichartiger Körper zu einem durchgängig gleichartigen neuen Stoff heißt eine chemische Zusammensetzung oder eine Mischung, im Gegensatze zu der mechanischen Zusammensetzung oder dem Gemenge, welches eine Verbindung ungleichartiger Körper ist, wobei diese gar keine Veränderung erleiden.

Die Stoffe, welche sich mit einander zu einer Mischung verbinden, heißen die Bestandteile derselben, im Gegensatze zu den Gemengteilen. Die Bestandteile lassen sich in der Mischung von einander nicht unterscheiden, wohl aber die Gemengteile im Gemenge.

Weingeist mit Wasser, Salz oder Zucker mit Wasser, Harz mit Weingeist, Öl und Laugensalz zu Seife, Schwefel und Quecksilber zu Zinnober, Sand und Pottasche zu Glas, Zink und Kupfer zu Messing u. s. w. Dagegen Korn und Gerste, Sand und Wasser, Öl und Wasser, Öl und Essig u. s. w.

Die zweite Hauptoperation der Chemie ist die Scheidung (chemische Zersetzung, Zerlegung oder Trennung); sie ist der Mischung entgegengesetzt. Auch sie beruht in den meisten Fällen auf der chemischen Anziehung, indem man z. B. zu einem aus zwei Bestandteilen bestehenden Körper einen andern Körper bringt, der zu einem der beiden Bestandteile eine größere Verwandtschaft hat, als die beiden zu einander; er verbindet sich dann mit diesem verwandten Bestandteile, und macht den zweiten frei. Die chemische Zerlegung unterscheidet sich von der mechanischen dadurch, daß dort die Teile von verschiedener, hier von gleicher Art sind.

Harz und Kampfer lösen sich in Weingeist auf; soll das Harz oder der Kampfer ausgeschieden werden, so gießt man Wasser hinzu, das sich mit dem Weingeist verbindet, und Harz oder Kampfer frei macht. Das Wasser giebt chemisch zerlegt Sauerstoff und Wasserstoff, mechanisch zerlegt Wassertropfen.

Einfache Körper oder Grundstoffe, auch Elemente genannt sind solche Körper, welche bis jetzt noch nicht in chemisch ungleichartige Bestandteile zerlegt worden sind. Die Chemiker kennen bis etzt 64 Elemente, von denen 50 Metalle und 14 Metalloide oder

Nichtmetalle sind. Die Metalle haben einen starken Glanz und sind gute Wärme- und Elektricitätsleiter; die Metalloide haben diese Eigenschaften gar nicht, oder doch in viel geringerem Grade.

Von den Elementen sind für gewöhnlich luftförmig: Chlor, Fluor, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff; flüssig: Brom und Quecksilber; alle übrigen sind fest. Die vier Elemente der Alten, nämlich Erde, Wasser, Luft und Feuer sind nicht Elemente in unserem Sinne.

237. Von den unzähligen, aus den Elementen zusammengesetzten Körpern sind uns vorzüglich wichtig: 1) Die Säuren, 2) die Basen, welche in Alkalien, Erden und Metalloxyde eingeteilt werden, und 3) die Salze.

A. Die Säuren sind zusammengesetzte Körper von folgenden Eigenschaften: Die auflöslichen haben einen sauren Geschmack, sie röten blaue Pflanzenfarben (Veilchen, Lakmus, Blaukohl, Ackeley) und stellen die durch die Alkalien veränderten wieder her; sie bilden mit den Basen Salze; sie sind alle negativ elektrisch, d. h. sie scheiden sich am positiven Pole der Voltaschen Säule aus ihren Verbindungen mit den Basen ab.

Die Blausäure schmeckt nach bitteren Mandeln, die Hydrothionsäure nach faulen Eiern.

Die Säuren sind entweder Sauerstoffsäuren, d. i. Verbindungen der Nichtmetalle mit dem Sauerstoffe, z. B. Schwefesäure, Salpetersäure, Kohlensäure, Phosphorsäure — oder Wasserstoffsäuren, d. ist Verbindungen der Nichtmetalle Brom, Chlor, Cyan, Fluor und Jod mit dem Wasserstoffe, welche Bromwasserstoffsäure, Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure), Cyanwasserstoffsäure (Blausäure), Fluorwasserstoffsäure (Flußsäure) und Jodwasserstoffsäure heißen — oder organische Säuren, und zwar vegetabilische, wie die Citronsäure, Traubensäure, Essigsäure u. s. w., welche fast alle aus Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff bestehen, und animalische, wie die Ameisensäure.

Alle drei Aggregatszustände haben Säuren, so ist z. B. die Kohlensäure luftförmig, die Schwefelsäure flüssig, die Boraxsäure fest.

B. a) Die Alkalien oder Laugensalze sind zusammengesetzte Körper von folgenden Eigenschaften: Sie haben einen laugenhaften Geschmack, wirken stark ätzend (kaustisch) auf Pflanzen- und Tierstoffe, lösen sich im Wasser leicht auf, verändern die blaue Veilchenfarbe (aber nicht Lakmus) in grüne, so wie gelbe Pflanzenfarben (Kurkuma, Rhabarber) in rote und stellen das durch eine Säure gerötete Lakmus wieder her; sie bilden mit Säuren Salze; sie sind positiv elektrisch, d. h. sie scheiden sich am negativen Pole der Voltaschen Säule aus ihren Verbindungen mit den Säuren ab; mit Fetten und Ölen bilden sie im Wasser auflösliche Seife.

Wir kennen nur vier Alkalien: Kali, Natron, Lithion und Ammoniak, von denen die ersten drei Verbindungen des Sauerstoffes mit den Metallen Kalium (Pottassium), Natrium (Sodium) und Lithium sind; das Ammoniak dagegen ist eine Verbindung des Stick-

stoffes mit dem Wasserstoffe. Jene sind fest, dieses aber ist gasförmig, weshalb es auch flüchtiges Alkali heißt.

b) Die Körper Baryt, Strontian, Kalk und Magnesia, auch: Baryterde, Strontianerde, Kalkerde und Talkerde oder Bittererde genannt, haben mit den Alkalien mehrere Eigenschaften gemein; sie schmecken, Magnesia ausgenommen, alkalisch, sie sind im Wasser schwer löslich, sie wirken ätzend auf die Pflanzenfarben, sie bilden mit Säuren Salze und sind positiv elektrisch; sie unterscheiden sich dagegen dadurch von ihnen, daß sie mit Ölen und Fetten im Wasser unauflösliche Seife geben und allein nicht schmelzbar sind, wenn nicht etwa mehrere zugleich ins Feuer gebracht werden. Man nennt diese vier Körper alkalische Erden; dagegen heißen eigentliche Erden: die Kieselerde, Thonerde, Beryllerde, Yttererde, Erbinerde, Terbinerde, Zirkonerde, Norerde und Thorerde. Sie sind zwar, wie die Alkalien und alkalischen Erden positiv elektrisch und bilden mit Säuren Salze; sie sind aber geschmacklos, sind im Wasser durchaus unauflöslich, wirken nicht auf Pflanzenfarben, sind gar nicht schmelzbar und bilden keine Seife. Die Erden sind alle Sauerstoffverbindungen, nämlich Verbindungen des Sauerstoffes mit den Metallen: Baryum, Strontium, Calzium, Magnesium, Silicium, Aluminium, Beryllium, Yttrium, Erbium, Terbium, Zirkonium, Norium und Thorium.

c) Wiewohl alle Sauerstoffverbindungen im allgemeinen Oxyde (§ 239, 2) heißen, also die meisten Säuren (saure Oxyde) und Alkalien und alle Erden (basische Oxyde) hiernach Oxyde sind, so nennt man doch Oxyde vorzugsweise diejenigen Sauerstoffverbindungen, die keine Säure-Eigenschaften haben, auch nicht Alkalien und Erden sind. Von diesen Oxyden gehören nur Metalloxyde und zwar nur gewisse Metalloxyde zu den Basen; sie bilden als solche mit den Säuren Salze.

C. Ein Salz ist immer eine Verbindung einer Säure mit einer Basis, also mit einem Alkali, einer Erde oder einem Metalloxyde. Es giebt daher alkalische Salze (Kalisalze, Natronsalze, Lithionsalze, Ammoniaksalze), Erdsalze (Barytsalze, Strontiansalze u. s. w.) und Metallsalze (Magnesiumsalze, Zinksalze, Kupfersalze, Silbersalze u. s. w.). Die wissenschaftliche Benennung der Salze richtet sich nach den in ihnen enthaltenen Körpern; man gebraucht die Basis als Hauptwort, die Säure als Beiwort, z. B. schwefelsaures Natron (Glaubersalz), salzsaures Ammoniak (Salmiak), salpetersaures Kaliumoxyd (Salpeter), schwefelsaures Kupferoxyd (Kupfervitriol).

Die Säuren und Basen verbinden sich zu Salzen in verschiedenen Verhältnissen. Die Verbindung zweier Salze mit einander heißt ein Doppelsalz, wie der Alaun, welcher aus schwefelsaurem Kali (1 g) und schwefelsaurer Thonerde (2 g) besteht und deshalb auch schwefelsaure Kalithonerde heißt.

Neutralsalze, saure und basische Salze. — Indifferente Stoffe sind solche, die, wie das Wasser, weder zu den Säuren, noch zu den Alkalien, noch auch zu den Salzen gehören. — Säuren und Basen, Salze, Doppelsalze sind chemische Verbindungen erster, zweiter und dritter Ordnung.

238. Ehe wir die Eigenschaften der wichtigsten einfachen Stoffe und die merkwürdigsten daraus entstehenden Verbindungen angeben, bemerken wir vorerst hinsichtlich der Mengen, in welchen sich die Körper mit einander verbinden, daß dieses nicht in durchaus willkürlichen Verhältnissen, z. B. beim Weingeist und Wasser, oder wenigstens in willkürlichen Verhältnissen bis zum Sättigungszustande, wie beim Salze und Wasser, welches von jenem höchstens ein Dritteil seines eigenen Gewichtes auflösen kann, geschieht, sondern in den chemischen Verbindungen nach genau bestimmten Volumen- und Gewichtsverhältnissen, und zwar in der Art, daß, wenn ein Stoff mit einem andern mehrere Verbindungen eingeht, dieser in der zweiten, dritten u. s. w. Verbindung ein Mehrfaches, in ganzen oder einfachen Bruchzahlen ausgedrückt, von seiner Größe in der ersten Verbindung ist. Diese Größe eines Stoffes, nach Gewichten ausgedrückt, welche bei den Verbindungen gleichsam die Einheit ist, heißt ein Mischungsgewicht (Äquivalent), so wie das Verhältnis der Mischungsgewichte zweier Körper: ihr Mischungsverhältnis. Das Mischungsgewicht eines zusammengesetzten Körpers ist immer die Summe der Mischungsgewichte seiner Bestandteile. Der mathematische Teil der Chemie, welcher die Mischungsverhältnisse der Grundstoffe (στοιχεῖον) kennen lehrt, heißt die Stöchiometrie, und die dabei vorkommenden, auf die Mischungsgewichte bezüglichen Zahlen heißen die stöchiometrischen Zahlen.

Das Wasser entsteht aus 1 Maß oder Volumen (Raumteil) Sauerstoffgas und 2 Maß Wasserstoffgas; da aber das spezifische Gewicht des ersteren 1,1026, das des letzteren nur 0,0688 ist, so ist das Sauerstoffgas über 16 mal schwerer, als das Wasserstoffgas; mithin bei der Wasserbildung 1 Volumen von jenem über 8 mal so schwer, als die zwei Volumen von diesem. Hieraus folgt, daß zur Wasserbildung dem Gewichte nach vom Sauerstoffgase das 8fache des Wasserstoffgases genommen werden müsse. 1, 8, 9 sind nun die Mischungsgewichte des Wasserstoffgases, Sauerstoffgases und des Wassers, und so oft sie sich mit anderen Körpern verbinden, verbinden sie sich mit ihnen als 1×1, 2×1 u. s. w., 1×8, 2×8 u. s. w., 1×9, 2×9 u. s. w., oder wenn das Gewicht eines Volumens Wasserstoffgases (Atomgewicht) mit 1 bezeichnet wird, so muß auf das Sauerstoffgas 16 und auf das Wasser $2 \cdot 1 + 16 = 18$ kommen.

Die letzte Vorstellung festhaltend, können wir sagen: Die Menge jedes anderen einfachen Stoffes, der sich mit 1 g Wasserstoffgas so verbindet, daß in der entstandenen Verbindung die Eigentümlichkeit des Wasserstoffgases dergestalt aufgehoben wird, wie sie durch 8 g Sauerstoffgas im Wasser aufgehoben ist, heißt sein Äquivalent, weil es, in Gewichten ausgedrückt, in Bezug auf seinen Einfluß auf das Wasser-

stoffgas, eben so viel gilt, eben so viel wert ist, als 8 g Sauerstoffgas. — Dies leisten z. B. 16 g Schwefel, 35,5 g Chlor (Schwefel- und Chlorwasserstoff), so daß das Äquivalent für Schwefel 16, für Chlor 35,5 ist. Ebenso verbinden sich 8 g O mit 16 g S oder mit 35,5 g Cl. — Auch die vielfachen Äquivalente zweier oder mehrerer Elemente verbinden sich mit einander. So besteht Kreide ($CaO, CO_2 = CaCO_3$) aus 56% Kalk und 44% Kohlensäure, Kalk wieder aus 1 Äq. Calcium und 1 Äq. Sauerstoff, Kohlensäure aus 1 Äq. Kohlenstoff und 2 Äq. Sauerstoff.

Bei der Vergleichung der Mischungs- und Atomgewichte der Körper gehen Dalton (1804) und Davy vom Atomgewichte des Wasserstoffgases, durch 1 ausgedrückt, aus: Gmelin u. A. vom Mischungsgewichte des Wasserstoffgases, welches er auch mit 1 bezeichnet. Hoffmann nimmt als Einheit das Gewicht eines Kubikdezimeters Wasserstoff bei 0° C. und 0,76^m Atmosphären Druck an und nennt es Krith. Berzelius (1824) aber setzt das Sauerstoffgas als Grundlage = 100 und trennt Atom- und Mischungsgewichte, so daß Sauerstoff zum Atom- und Mischungsgewichte 100 hat, Wasserstoff zum Atg. 6,25, zum Mg. 2 . 6,25, Chlorgas zum Atg. 221,32, zum Mg. 2 . 221,32 ꝛc. Wenn nun auch hiernach bei den verschiedenen Betrachtungsweisen die stöchiometrische Zahl desselben Stoffes verschieden ausfällt, so bleiben doch die Verhältnisse dieser Zahlen zu einander immer dieselben, und man kann aus den einen die anderen berechnen.

Steht nach Berzelius:

S. 100, Chl. 221,32, Schw. 201, W. 6,25,

so steht nach Davy:

$$\text{S. } \frac{100}{6{,}25} = 16, \text{ Chl. } \frac{221{,}32}{6{,}25}, \text{ Schw. } \frac{201}{6{,}25}, \text{ W. } 1,$$

wegen 6,25 : 100 = 1 : x

6,25 : 221,32 = 1 : x u. s. w.,

und nach Gmelin:

$$\text{S. } \frac{100}{2 \,.\, 6{,}25} = 8, \text{ Chl. } \frac{2 \,.\, 221{,}32}{2 \,.\, 6{,}25} = 35{,}41, \text{ Schw. } \frac{201}{2 \,.\, 6{,}25} = 16, \text{ W.}$$

Dieses Gesetzmäßige in den quantitativen Verhältnissen der zusammensetzenden Stoffe in den zusammengesetzten Körpern hat zu einer chemischen Formelsprache geführt, über die hier nur Folgendes stehen mag: Der zusammengesetzte Körper wird durch eine Formel bezeichnet, aus der man die zusammensetzenden Stoffe und ihr Mengenverhältnis leicht erkennt. Zu diesem Zwecke wird jeder einfache Stoff mit dem Anfangsbuchstaben, einige auch mit zwei Buchstaben ihres lateinischen Namens bezeichnet, die für sich allein ein Mischungsgewicht angeben, während mehrere Mischungsgewichte durch rechts unterhalb der Buchstaben beigeschriebene Zahlen ausgedrückt werden. Wenn ein Körper aus mehreren Verbindungen besteht, so werden die Zeichen unmittelbar neben einander, durch Kommata getrennt, gestellt, oder durch das Additionszeichen mit einander verbunden, und kommen die Bestandteile mehrere Male vor, so wird dieses durch Koeffizienten ausgedrückt.

Die folgende auf die wichtigsten Elemente sich beziehende Zusammenstellung ist aus Stöckhardts Schule der Chemie entnommen.

Da in der neueren Zeit die chemischen Symbole häufiger nach Atom= als nach Äquivalentgewichten angegeben werden, sind hier beide zu= sammengestellt.

Element.	Äquivalentgewicht Äq. G.	Atomgewichte A. G.
Wasserstoff (Normalelement) . . .	H = 1	1 = H^{I}
Sauerstoff	O = 8	16 = O^{II}
Stickstoff	N = 14	14 = N^{V}
Kohlenstoff	C = 6	12 = C^{IV}
Schwefel	S = 16	32 = S^{II}
Phosphor	P = 31	31 = P^{V}
Chlor	Cl = 35,5	35,5 = Cl^{I}
Brom	Br = 80	80 = Br^{I}
Jod	J = 127	127 = J^{I}
Fluor	Fl = 19	19 = Fl^{I}
Bor	B = 11	11 = B^{III}
Silicium	Si = 14	28 = Si^{IV}
Kalium	K = 39	39 = K^{I}
Natrium	Na = 23	23 = Na^{I}
Lilhium	Li = 7	7 = Li^{I}
Calcium	Ca = 20	40 = Ca^{II}
Barium	Ba = 68,5	137 = Ba^{II}
Strontium	Sr = 43,7	87,5 = Sr^{II}
Magnesium	Mg = 12	24 = Mg^{II}
Aluminium	Al = 13,7	27,5 = Al^{IV}
Eisen	Fe = 28	56 = Fe^{IV}
Mangan	Mn = 27,5	55 = Mn^{IV}
Kobalt	Co = 29,5	59 = Co^{IV}
Nickel	Ni = 29,5	59 = Ni^{IV}
Uran	U = 60	120 = U^{IV}
Zink	Zn = 32,5	65 = Zn^{II}
Cadinium	Cd = 56	112 = Cd^{II}
Blei	Pb = 103,5	207 = Pb^{IV}
Kupfer	Cu = 31,7	63,5 = Cu^{II}
Quecksilber	Hg = 100	200 = Hg^{II}
Silber	Ag = 108	108 = Ag^{I}
Platin	Pt = 98,7	197,4 = Pt^{IV}
Gold	Au = 197	197 = Au^{III}
Zinn	Sn = 59	118 = Sn^{IV}
Wismut	Bi = 208	208 = Bi^{III}
Chrom	Cr = 26,2	52,2 = Cr^{IV}
Molybdän	Mo = 48	96 = Mo^{VI}
Wolfram	W = 92	184 = W^{VI}
Antimon	Sb = 122	122 = Sb^{V}
Arsen	As = 75	75 = As^{V}

Die meisten Elemente haben eine doppelt so große Atom= als Äquivalentgewichtszahl, weil das eigentlich zwei Atome enthaltende Äquivalent des Wasserstoffs als Einheit der Äquivalente angenommen ist, während bei den Atomgewichten 1 Atom Wasserstoff gleich 1 ist. Die römischen Zahlen zeigen an, wie viel Atome Wasserstoff ein Atom jedes Elements zu binden vermag.

Die Atom- wie die Äquivalentgewichte sind nur Verhältnißzahlen. Verhalten sich also die Äquivalentgewichte zweier Elemente wie ihre Atomgewichte, so ist die Bezeichnung nach beiden dieselbe. Z. B. Schwefelsäureanhydrid wird nach beiden Bezeichnungen mit SO_3 bezeichnet, wegen $8 : 16 = 16 : 32$, ebenso schweflige Säure SO_2. Dagegen bezeichnet man Wasser nach Äquivalentgewicht mit HO, nach Atomgewicht mit H_2O wegen $1 : 8 = 2 : 16$. Weil die Bezeichnung nach Äquivalentgewichte einfacher und leichter verständlich ist, ist sie hier beibehalten.

Nach dem Dulongschen Gesetze sind die Atomgewichte sehr vieler Elemente umgekehrt proportional der specifischen Wärme (§ 188, 2), d. h. das Produkt der Atomgewichte und der specifischen Wärme der Elemente giebt annähernd dieselbe Zahl.

239. 1) Der Sauerstoff (oxygenium) ist ein Bestandteil der meisten Körper; ein wesentlicher Bestandteil aller Pflanzen- und Tierstoffe; ein Hauptbestandteil des Wassers (89 Gewichtsprozente), und der atmosphärischen Luft (23 Gewichtsprozente). Das spezifische Gewicht des Sauerstoffgases, das Gewicht der atmosphärischen Luft als Einheit genommen, ist 1,1; es ist ohne Geruch, Geschmack und Farbe; zum Leben und Gedeihen der Menschen, Tiere und Pflanzen, auch zum Verbrennen der Körper unumgänglich notwendig. Atmen und Verbrennen finden in ihm weit lebhafter statt, als in der atmosphärischen Luft; alle anderen Luftarten sind nur dann atembar, d. h. dem Leben zuträglich, wenn sie mit ihm vermischt sind, wie z. B. das Stickstoffgas in der atmosphärischen Luft. Entwickelt wird Sauerstoff aus Metalloxyden durch Erhitzung derselben, z. B. aus rotem Quecksilberoxyde, besonders häufig aus dem Braunsteine oder dem Mangansuperoxyde; sodann aus Säuren, von denen die meisten Sauerstoffverbindungen sind; auch aus Salzen, z. B. aus chlorsaurem Kali; wohl auch aus Pflanzen, insbesondere den saftreichen. Zuerst dargestellt 1774 von Pristley. Es ist in neuerer Zeit tropfbarflüssig gemacht § 189, 8, und verbindet sich mit allen Elementen, außer mit Fluor. — Das bereits § 207, 5 erwähnte Ozon, von Schönbein 1837 entdeckt, wird als aktiver Sauerstoff bezeichnet; zersetzt Jod-Kalium; ist in der Atmosphäre verbreitet, wo es beim Bleichen wirkt, indem es ähnlich wie Chlor die Farbstoffe zerstört. Sein spezifisches Gewicht ist um die Hälfte größer als der gewöhnliche Sauerstoff. Denn 1 Molekül Sauerstoff ist 32 mal, 1 Molekül Ozon 48 mal schwerer als ein Molekül Wasserstoff. Dargestellt wird es, wenn Phosphor, zum Teil mit Wasser bedeckt, in einer geräumigen Flasche mit der atmosphärischen Luft in Berührung gebracht wird.

Brennende Körper, in Sauerstoffgas gebracht, brennen rascher und mit größerer Flamme fort, als in der atmosphärischen Luft; und Körper, die in atmosphärischer Luft nur glimmen, brennen mit Flamme im Sauerstoffgase, z. B. glimmende Holzspäne, Wachslichte, Zunder, Kohle; Phosphor verbrennt mit einem kaum zu ertragenden Glanze, Stahlfedern schmelzen zu Kügelchen u. s. w. Verstärkung des Feuers mittelst eines Blasebalges. — Zugöfen. Das Wasser nimmt außerdem, da einer seiner Bestandteile Sauerstoff ist, auch noch welchen auf, den es wirklich in Luftform festhält, und dem es zuzuschreiben ist, daß die Wassertiere unter dem Wasser leben können.

2) Die Vereinigung eines Körpers mit dem Sauerstoffe heißt im allgemeinen Oxydationsprozeß oder Oxydation, und der daraus entstandene Körper ein Oxyd oder eine Sauerstoffverbindung. Die Oxydation ist in vielen Fällen von einer Licht- und Wärmeentwickelung begleitet; in vielen Fällen aber auch nicht, wie z. B. beim Rosten der Metalle, weshalb man Verbrennung und dunkle Verbrennung unterscheidet. Brennbar heißt jeder Körper, welcher sich mit Sauerstoff verbinden kann, und ein Körper verbrennt, heißt: er verbindet sich mit dem Sauerstoffe. Das Produkt der Verbrennung muß so viel wiegen, als der verbrannte Körper und der bei seiner Verbrennung verbrauchte Sauerstoff zusammen. Der der Oxydation entgegengesetzte chemische Prozeß ist die Desoxydation, bei den Metallen die Reduktion, wobei dem oxydierten Körper der Sauerstoff entzogen wird.

Das Atmen der Tiere und Menschen ist auch ein Verbrennungsprozeß; die eingeatmete Luft giebt ihren Sauerstoff an den Kohlenstoff des Blutes ab, und die hierdurch entstandene Kohlensäure wird ausgeatmet. Die tierische Wärme beruht vorzugsweise auf dieser Oxydation des Kohlenstoffes im Blute. Die Pflanzen nehmen durch die Spaltöffnungen der Blätter die Kohlensäure auf, und scheiden Sauerstoff aus. — Zwei Teile Mangan verbinden sich mit 2 O zu Manganoxydul; mit 3 O zu Manganoxyd; mit 4 O zu Manganhyperoxyd; mit 6 O zu Mangansäure, mit 7 O zu Über-Mangansäure.

3) Ehe ein Körper zu brennen, d. h. mit dem Sauerstoffe sich zu verbinden anfangen kann, muß er zuerst eine gewisse Temperatur, welche seine Entzündungstemperatur heißen mag, erreicht haben, und damit er fortbrennen könne, ist die fernere Gegenwart des Sauerstoffes oder der denselben als Bestandteil enthaltenden atmosphärischen Luft nötig. Um ein Feuer auszulöschen, muß man den brennenden Körper daher entweder unter seine Entzündungstemperatur bringen, oder den Sauerstoff von ihm abhalten, oder den brennbaren Stoff entfernen. Hierauf gründen sich alle Mittel, Feuer auszulöschen.

240. Der Wasserstoff (hydrogenium) ist wie der Sauerstoff ein wesentlicher Bestandteil der Tier- und Pflanzenkörper und ein Hauptbestandteil des Wassers (11 Gewichtsprozente). Das Wasserstoffgas ist geruch-, geschmack- und farblos und der brennbarste Körper in Berührung mit der atmosphärischen Luft; sonst ist es unfähig, das Verbrennen und Atmen zu unterhalten. Beim Verbrennen entwickelt es wenig Licht, aber viel Hitze, ist der leichteste aller Körper, sein spezifisches Gewicht ist 0,0692, es ist also über 14 mal leichter, als die atmosphärische Luft, und da diese bei der Nulltemperatur und 28 Zoll Barometerstand wieder an 779 mal leichter als Wasser ist (§ 120), an 11000 mal leichter, als dieses; auch ist es 16 mal leichter als Sauerstoffgas (vergl. 189, 8). Erzeugt wird das Wasserstoffgas durch Zerlegung des Wassers 1) mittelst des elektrischen Stromes, besonders der Voltaschen Säule, wobei sich das Wasserstoffgas am negativen, das Sauerstoffgas am positiven Pole ansammelt; 2) indem man Wasserdämpfe über glühendes Eisen leitet, z. B. indem man sie durch

einen glühenden, mit Eisenfeilspänen angefüllten Flintenlauf gehen läßt, wobei sich das Sauerstoffgas der Wasserdämpfe mit dem Eisen verbindet und es oxydiert, während das Wasserstoffgas frei wird; 3) durch einen Aufguß von Schwefelsäure auf im Wasser liegende Eisenfeilspäne oder Zink, wobei der Hergang der Sache so erklärt wird: durch die prädisponierende Wahlverwandtschaft veranlaßt die Schwefelsäure, daß das Wasser seinen Sauerstoff an Zink oder Eisen abgiebt und verwandelt es in Zink- oder Eisenoxyd. Indem nun so das Wasserstoffgas des Wassers frei wird, wird zugleich das Zink- oder Eisenoxyd in der Schwefelsäure aufgelöst und es bildet sich schwefelsaures Zinkoxyd oder schwefelsaures Eisenoxydul.

Ein brennendes Licht löscht, in Wasserstoffgas gebracht, aus, während dieses Gas selbst, sobald Sauerstoffgas vorhanden ist, brennt. — Aërostaten; Wasserstoffgasblasen. — Elektrische Zündmaschine; Döbereiners Zündmaschine oder Platina-Zündmaschine. — Zwei Volumen Wasserstoffgas und ein Volumen Sauerstoffgas mit einander gemengt, geben Knallluft, bei deren mit einem Knalle begleiteten Entzündung mittelst eines elektrischen Funkens Wasser entsteht; elektrische Pistolen und Kanonen. Chemische Harmonika: eine Glasröhre, in welcher das Wasserstoffgas in Schwingungen gesetzt wird durch sich wiederholende Detonationen des Knallgases an dem Ende, welches über die Flamme gehalten wird, und wo sich mit Hülfe der atmosphärischen Luft das Knallgas bildet. Die schlagenden Wetter in den Bergwerken und die Sumpfluft sind Kohlenwasserstoffgas, welches mit gewöhnlicher Luft vermengt, Knallgas bildet; Davys Sicherheitslampe. — Die Salzsäure oder Chlorwasserstoffsäure (ac. muriaticum).

241. Der Stickstoff (nitrogenium) ist ein Bestandteil mehrerer Pflanzen und der meisten Tierkörper, außerdem ein Hauptbestandteil der athmosphärischen Luft, da diese aus $^4/_5$ Volumen Stickstoffgas (Stickgas, Azotgas) und nur $^1/_5$ Sauerstoffgas gemengt ist. Dieses Gas ist, wie das Sauerstoff- und Wasserstoffgas, ohne Geschmack, Geruch und Farbe. Sein spezifisches Gewicht ist 0,97; es kann weder das Atmen, noch das Verbrennen unterhalten; daher in der atmosphärischen Luft, wenn ihr der Sauerstoffgehalt entzogen wird, Tiere umkommen und Lichte erlöschen. (§ 189, 8.) Man kann dieses Gas entwickeln, wenn man in einer mit Wasser abgesperrten, atmosphärische Luft enthaltenden Glasglocke Körper verbrennt, wozu sich Phosphor und Weingeist am besten eignen; oder durch einen Aufguß von Salpetersäure auf Fleisch, oder durch Erhitzung einer Auflösung von salpetrigsaurem Ammoniak.

Die atmosphärische Luft hat zwei wesentliche Gemengteile: Stickstoffgas und Sauerstoffgas, und zwar kommen auf 100 Raumteile Luft 79 Raumteile von jenem und 21 von diesem; oder 77 Gewichtsteile von jenem und 23 von diesem. Außerdem enthält die atmosphärische Luft noch manche andere durch Verdunstung in sie gelangende Gemengteile, wie Kohlensäure (nie über 0,04 ihres Volumens), Ammoniak, Schwefel- und Phosphorwasserstoff und Wassergas, letzteres nach Örtlichkeit und Temperatur in besonders wandelbarem Verhältnisse (§ 192, III).

Eudiometrie ist die Lehre von der Bestimmung des Sauerstoffgehaltes der atmosphärischen Luft und Eudiometer heißen die dabei gebrauchten Instrumente. Voltas Eudiometer gründet sich darauf, daß ein Volumen Sauer-

stoffgas und zwei Volumen Wasserstoffgas Wasser geben. Man nimmt einige Maße atmosphärischer Luft, dazu die Hälfte Wasserstoffgas, läßt einen elektrischen Funken durch die Mischung schlagen, wodurch eine gewisse Luftmenge verschwindet, indem Wasser entsteht; $^1/_3$ der verschwundenen Luftmenge ist das der atmosphärischen Luft entzogene Sauerstoffgas; wird also die absorbierte Luftmenge mit 3 dividiert, so erhält man den Sauerstoffgehalt des erzeugten Wassers und zugleich der gebrauchten atmosphärischen Luft; z. B. 100 Volumen atmosphärischer Luft und 50 Wasserstoffgas geben 150 Volumen; nach dem Durchschlagen des elektrischen Funkens bleiben übrig 87, verschwunden sind also 63, und $^{63}/_3 = 21$ ist der Sauerstoffgehalt der 100 Volumen atmosphärischer Luft, d. h. das Stickstoffgas und Sauerstoff sind in der atmosphärischen Luft dem Volumen nach in dem Verhältnisse von 79 : 21 enthalten; was, auf Gewichte reduziert, das Verhältnis 77 : 23 giebt. Mit den 21 Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft haben sich von den 50 Volumen Wasserstoffgas nur 42 verbunden, und die übrigen 8 Volumen Wasserstoffgas sind mit 79 Stickstoffgas zurückgeblieben.

I. Von den fünf Sauerstoffverbindungen des Stickstoffes, nämlich Stickstoffoxydul (NO), Stickstoffoxyd (NO_2), Salpetrige Säure (NO_3), Untersalpetersäure (NO_4), Salpetersäureanhydrid (NO_5), ist letztere für Künste und Gewerbe am wichtigsten, besonders wegen ihrer ätzenden und die Metalle auflösenden Eigenschaft, wovon jedoch Gold und Platina, die nur vom Königswasser, Goldscheidewasser (aqua regis oder ac. muriato-nitricum), welches aus zwei Teilen Salzsäure und einem Teile Salpetersäure besteht, aufgelöset werden, eine Ausnahme machen. Mit Wasser verdünnte Salpetersäure (HO,NO_5) heißt Scheidewasser, so genannt, weil es Silber vom Golde scheidet, indem es jenes auflöset und dieses unangegriffen läßt. Die Salpetersäure wird aus Salpeter, d. i. salpetersaurem Kali erzeugt, wenn Schwefelsäure dazu gegossen wird, welche sich mit dem Kali verbindet und die Salpetersäure frei macht. — Die Schießbaumwolle erhält man, indem man Baumwolle in einer Mischung von gleichen Gewichten von Salpetersäure und Schwefelsäure ungefähr eine Minute liegen läßt, sie darauf gut auswäscht und vorsichtig trocknet. Die Wirkung der Schießbaumwolle, sowie des Schießpulvers beruht auf der Entwickelung sehr expansibler Gasarten aus einem festen Körper, welcher einen kleinen Raum einnimmt. Schießpulver aus Kohle, Schwefel und Salpeter gemischt nach dem chemischen Verhältnis $3\,C + S + NO_5\,KO$ giebt $3\,CO_2 + N + KS$, d. h. 3 Teile Kohlensäure, 1 Teil Stickstoff — beide sehr expansibel — und das fest zurückbleibende Schwefel-Kalium. Das zu Heftpflastern und kleinen Luftballons benutzte Kollodium ist in Schwefeläther aufgelösete Schießbaumwolle.

II. Das Ammoniakgas (H_3N), flüchtiges Laugensalz, besteht aus Stickstoff und Wasserstoff, wird heftig vom Wasser absorbiert, da ein Volumen Wasser 670 Volumen desselben aufnehmen kann, und bildet so den Salmiakgeist, und mit der Salzsäure ein Salz, das salzsaure Ammoniak oder den Salmiak.

III. Die Blausäure (ac. hydrocianicum s. borussicum $HC_2N = HCy$, § 243), das heftigste Gift und ein Bestandteil aller Pflanzenstoffe, die den Geruch und Geschmack bitterer Mandeln haben, besteht aus Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff.

242. Das Chlor ist ein Hauptbestandteil unseres Kochsalzes, welches aus Chlor und Natrium besteht und welches daher auch Chlornatrium (Na Cl) heißt. Das Chlorgas ist gelblich-grün, also sichtbar, und hat einen starken, eigentümlichen Geruch, unterscheidet sich hierdurch wesentlich vom Sauerstoff-, Wasserstoff- und Stickstoffgase; es ist nicht brennbar, aber Phosphor und einige Metalle, z. B. Zinn, Wismut, Spießglanz, verbrennen darin, wie im Sauerstoffgase, bei gewöhnlicher Temperatur; es zerstört die Färbestoffe der Pflanzen- und

Tierkörper und ist ein kräftiges Bleichmittel; es zerstört schädliche Gasarten (Schwefelwasserstoffgas, Schwefelwasserstoffammoniak), Ansteckungsdünste (Miasmen) und bösartige Krankheitsstoffe; in kleinen Mengen eingeatmet, erzeugt es Husten, Schnupfen ꝛc., in größeren Brustbeklemmungen, Blutspucken, ja es tötet. Spez. Gewicht 2,44. Entwickelt wird es aus Salzsäure und Braunstein, oder aus Kochsalz, Braunstein und verdünnter Schwefelsäure: dort wird der Salzsäure der Wasserstoff, hier dem Kochsalze das Sodium entzogen.

I. Das Chlor bildet mit dem Wasser, von dem es leicht aufgenommen wird, das Chlorwasser, mit Weingeist den Salzäther, welcher die Schärfe des Chlors gar nicht hat; mit Natron oder Soda Chlorsoda; mit Kalk Chlorkalk, der in flüssigem und festem oder trockenem Zustande dargestellt werden kann; mit Wasserstoff (§ 240) die Salzsäure (ac. muriaticum HCl.). Chlorwasser, Chlorkalk, Chlorsoda kommen im allgemeinen in ihren Wirkungen dem Chlorgase gleich.

II. Chlorsaures Kali (zu chemischen Feuerzeugen und Perkussionspulver), Chlornatrium (salzsaures Natron, Kochsalz), Chlorammonium (salzsaures Ammoniak), Chlorsilber (salzsaures Silberoxyd, Hornsilber).

243. Der Kohlenstoff kommt in der Natur ganz rein nur als Diamant vor, sonst ist er ein Hauptbestandteil aller Arten von Kohlen (Graphit, Steinkohlen, Braunkohlen, Pflanzenkohlen, Tierkohlen) und Torf, kommt in den Pflanzen mit Sauerstoff und Wasserstoff, in den Tieren auch mit Stickstoff verbunden vor. Er ist beim Abschluß der Luft auch in der stärksten Hitze unschmelzbar und läßt sich nicht verflüchtigen. Die gut ausgebrannte Kohle, namentlich die der weichen Hölzer, wie z. B. der Weiden und Kiefern, hat 1) die Eigenschaft, Gasarten und Dämpfe in ihre Poren aufzunehmen und zu verdichten; sie kann z. B. von kohlensaurem Gase das 35fache ihres Volumens aufnehmen; 2) die Eigenschaft, verschiedene Stoffe aus dem Pflanzen- und Tierreiche anzuziehen und festzuhalten, daher sie gebraucht wird, faulenden Substanzen Geruch und Geschmack zu benehmen, faul gewordenes Wasser trinkbar zu machen, Flüssigkeiten zu entfärben u. s. w.

Kohlenpulver macht die Luft trocken. — Stahlwaaren, in Kohlenpulver eingepackt, rosten nicht. — Holzpfähle werden an den unteren Enden, welche in die Erde kommen, verkohlt; ebenso die Schiffstonnen inwendig. — Fleisch kann durch Kohlenpulver vor Fäulnis bewahrt werden. — Gebrauch der pulverisierten Kohle zur Reinigung der Zähne.

I. Von den fünf Sauerstoffverbindungen des Kohlenstoffes sind besonders merkwürdig das Kohlenstoffoxydgas (CO) und die Kohlensäure (ac. carbonicum, CO_2), oder das kohlensaure Gas, welches aus Kreide, Marmor, Kalk (kohlensaurem Kalk) mittelst Salzsäure entwickelt werden kann. Kohlenoxydgas verbrennt, indem es sich in Kohlensäure verwandelt, mit blauer Flamme; Kohlensäure dagegen läßt sich gar nicht entzünden; in keinem von beiden brennt ein Licht und beide sind lebensgefährlich. Die blauen Flämmchen über glühenden Kohlen sind Kohlenoxydgas. — Öfen dürfen daher nicht eher mittelst Klappen geschlossen werden, bis diese Flämmchen verschwunden sind; Becken mit glühenden Kohlen in Zimmern sind gefährlich. Kohlensäure wird auch durch das Atmen und bei der Gährung erzeugt; daher ist große Vorsicht in Kellern, wo Biere und Weine gären, notwendig. Die Kohlensäure ist aber für den Magen, so schädlich sie den Lungen ist, ein Erfrischungsmittel, z. B. bei den schäumenden Bieren, Champagner, Sauerbrunnen, deren Wässer Säuerlinge heißen, wie bei dem

Selterwasser aus dem Nassauischen. Da das spezifische Gewicht der Kohlensäure 1,53 ist, so sinkt sie in der atmosphärischen Luft nieder. — Hundsgrotte bei Puzzuoli. — Für die Pflanzen ist die Kohlensäure ein wichtiges Nahrungsmittel; durch ihre ganze Oberfläche nehmen sie Kohlensäure aus der Luft auf, assimilieren den Kohlenstoff und hauchen den Sauerstoff aus. — Das kohlensaure Gas wird bei 40fachem Atmosphärendrucke flüssig und bei 57° C. künstlicher Kälte fest.

II. Die zwei Wasserstoffverbindungen des Kohlengases heißen beide Kohlenwasserstoffgas, das eine, das leichte (Grubengas, Kohlenwasserstoffgas in minimo des Kohlengases, H_2C), das andere, das schwere oder das ölbildende Gas (Leuchtgas, Kohlenwasserstoffgas in maximo des Kohlenstoffes, HC). Beide sind der Gesundheit nachteilig, beide brennbar, daher sie zur Gasbeleuchtung gebraucht werden, besonders das letztere, welches durch trockene Destillation aus organischen Körpern erhalten wird, namentlich aus Steinkohlen und Öl. Die Sumpfluft und die schlagenden Wetter oder feurigen Schwaden in Kohlenbergwerken sind leichtes Kohlenwasserstoffgas. — Kohlenstoff verbindet sich mit Stickstoff zu Cyan ($C_2N = Cy$), welche Luftart einen sehr stechenden Geruch hat und fast doppelt so schwer als die atmosphärische Luft ist. — Mit Sauerstoff bildet sie Cyansäure und Knallsäure (§ 241, III).

III. Kohlensaures Kali (gereinigte Pottasche), kohlensaures Natron (Soda), kohlensaurer Kalk (Marmor, Kalkstein, Kreide, Austern- und Eierschalen), kohlensaures Zinkoxyd (Galmei). — Die knallsauren Salze erfordern die größte Vorsicht, da sie durch Reiben, Druck und Erwärmen auf das heftigste detonieren. Das Knallquecksilber, knallsaures Quecksilberoxyd, wird zu Zündhütchen bei den Perkussionsgewehren gebraucht.

244. Der Schwefel, ein bekanntes Mineral von schöner, hellgelber Farbe, durchsichtig oder durchscheinend, ohne Geruch und Geschmack, dessen spezifisches Gewicht 2 ist, kommt in der Nähe von Vulkanen vor, in Rhombenoktaëdern krystallisiert, wird aber besonders durch Erhitzen aus seinen Verbindungen mit Erden und Metallen, namentlich aus Schwefelkies ($Fe\ S_2$), getrennt. Er ist ein Nichtleiter der Elektricität, springt auseinander, wenn er schnell erwärmt wird, weshalb er auch in der warmen Hand knistert. In abgeschlossenen Gefäßen erhitzt, verwandelt er sich, ohne verändert zu werden, in Dampf, aus dem sich durch Erkalten die Schwefelblumen bilden; in offenen Gefäßen aber verbrennt er mit blauer Flamme zu schwefeliger Säure, die sich als weißer Dampf zeigt. Der feste Schwefel löst sich leicht in fetten Ölen, Chlorschwefel besonders in Schwefelkohlenstoff auf.

I. Von den Sauerstoffverbindungen des Schwefels ist außer der schwefeligen Säure (SO_2) vorzüglich wichtig die Schwefelsäure (ac. sulphuricum, SO_3). Die schwefelige Säure ist dem Atmen nachteilig, zerstört viele Farben, weshalb sie auch ein Bleichmittel für Stroh, Seide und Wolle ist, sowohl als Gas, als auch im Wasser, von welchem sie verschluckt wird; weil sie die Gärung verhütet, braucht man sie zum Ausschwefeln der Weinfässer; sie wird durch Kälte und Druck flüssig und siedet als flüssige schwefelige Säure schon bei — 8°; die helle konzentrierte Schwefelsäure oder englische Schwefelsäure, spez. G. 1,84 ($HO.\ SO_3$), welche durch Verbrennen von Schwefel und Salpeter erzeugt wird, hat eine sehr große Affinität zum Wasser; die dunkelbraune und ölartige aber, auch Vitriolöl oder Nordhäuser Schwefelsäure, spez. G. 1,86, genannt, welche aus Eisenvitriol destilliert wird, besteht aus solcher konzentrierten, wasserhaltigen Schwefelsäure und wasserfreien Schwefelsäure, welche letztere das Rauchen des Vitriolöls an der Luft bewirkt. Eine Hauptanwendung der

Schwefelsäure besteht darin, daß sie zu Erzeugung anderer Säuren gebraucht wird, z. B. der Salzsäure aus Kochsalz, der Salpetersäure aus Salpeter, weil sie die stärkste Anziehung von allen Säuren auf andere Körper ausübt.

II. Die Hydrothionsäure (ac. hydrothionicum, HS) oder Schwefelwasserstoffgas ist eine Wasserstoffverbindung des Schwefels, eine Säure, die nach faulen Eiern riecht und schmeckt, brennbar und untauglich ist zum Atmen, spezifisches Gewicht 1,191. Dieses Gas entwickelt sich unter anderen, wenn verdünnte Schwefelsäure auf Schwefeleisen gegossen wird; hier wird das beigemischte Wasser zersetzt, der Sauerstoff verbindet sich mit dem Eisen, der Wasserstoff mit dem Schwefel. — Mephitische Luft in Kloaken, Abtritten ꝛc. — Chlorkalk.

III. Schwefelmetalle — Kiese und Blenden — Zinnober.

IV. Schwefelsaures Natron (Glaubersalz), schwefelsaurer Kalk (Gips), schwefelsaures Eisenoxydul (Eisenvitriol, grüner Vitriol), schwefelsaures Zinkoxyd (Zinkvitriol, weißer Vitriol), schwefelsaures Kupferoxyd (Kupfervitriol, blauer Vitriol), schwefelsaure Kali-Thonerde, ein Doppelsalz (Alaun).

245. Der Phosphor, Lichtträger, ein Mineral, farblos oder von roter Farbe, durchsichtig, wachsglänzend, knoblauchartig riechend, hat ein spez. Gewicht von 1,84; leuchtet im Dunkeln in Folge seiner langsamen Verbindung mit dem Sauerstoffe der Luft, entzündet sich auch in freier Luft schon bei einer niedrigen Temperatur oder beim Reiben, weshalb er immer unter Wasser in verschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden muß, wo er nur sehr langsam oxydiert. In ätherischen Ölen löset er sich auf, und macht sie leuchtend (leuchtende Schrift Feuerzeuge). Er ist ein Bestandteil der meisten Pflanzen, einiger Mineralien (Apatit), des Urins, der Phosphorsäure, der Knochen, deren Hauptbestandteil phosphorsaurer Kalk ist; rein kommt er nie vor, er wird daher immer künstlich erzeugt, z. B. aus Phosphorsäure mittelst Kohlenstaub. Zur Anfertigung der Reibzündhölzchen wird viel Phosphor verbraucht; auch wird er zur Vertilgung der Mäuse, Ratten u. s. w. angewendet. Entdeckt 1609 von Brand.

I. Von den Sauerstoffverbindungen des Phosphors ist besonders merkwürdig die Phosphorsäure (ac. phosphoricum, PO_5), die aus der Knochenasche (weiß gebrannte Knochen), die ganz phosphorsaurer Kalk sind, mittelst Schwefelsäure erzeugt wird; die Schwefelsäure verbindet sich mit dem Kalk zu Gips, und die Phosphorsäure wird frei.

II. Das Phosphorwasserstoffgas (H_3P) riecht nach faulen Fischen, entzündet sich in atmosphärischer Luft von selbst, sogar in großer Kälte.

Die Irrlichter, die Irrwische, bewegliche Flämmchen, welche man an ruhigen Abenden über morastigen und solchen Ortern, wo Tier- und Pflanzenkörper faulen, daher auch zuweilen auf Kirchhöfen sieht, mögen wol entzündetes Phosphorwasserstoffgas sein. Sonst glaubt man auch, die Fäulnis erzeuge eine schleimige phosphorescierende Materie, welche Fludd und Chladni (1781) gefunden zu haben behaupten. Die Irrlichter fliehen vor dem, der ihnen nachgeht, infolge der durch das Nachgehen vorwärts bewegten Luft.

246. Der Kiesel oder Silicium, der am meisten verbreitete Bestandteil der Erdrinde, kommt nur oxydiert vor als Kieselsäure ($Si\,O_3$), welche sonst Kieselerde hieß, im Sande, Bergkrystall, Amethyst, Feuerstein ꝛc. Die Panzer der Infusionstierchen enthalten Kieselsäure in großer Menge. Die Panzer bilden nach Ehrenberg den Tripel, den Polierschiefer und den Kieselguhr. Die Kieselsäure ist

nur im Sauerstoffgebläse schmelzbar und nur in Flußsäure auflöslich. — Das **Bor** kommt in der Natur selten und auch nur oxydiert vor als Boraxsäure in Mineralien, Mineralwässern, auch in vulkanischen Gasen im Toskanischen, so wie im Borax (borsaures Natron), welches zum Löten gebraucht wird. Boraxpulver, auf einem Platinadrahte vor dem Lötrohre geschmolzen, giebt eine durchsichtige farblose Perle; Borax aber mit Metalloxyden geschmolzen, giebt farbige Perlen, was für die Glas- und Porzellanmalerei wichtig ist; z. B. Eisen- und Antimonoxyd macht sie gelbrot, Kupfer- und Chromoxyd grün, Kobaltoxyd blau, Braunstein violet. — Das **Brom** ist eine dunkelbraunrote Flüssigkeit, welche sich leicht verflüchtigt und einen gelbroten Dampf giebt, der unangenehm nach Chlor riecht; kommt im Meerwasser, besonders im Wasser des toten Meeres, und in allen Salzquellen vor. — Der **Fluor** kommt im Flußspat vor, und bildet mit dem Wasserstoff die Flußsäure, welche die einzige die Kieselsäure (Kieselerde) auflösende Säure ist, weshalb sie auch zum Ätzen auf Glas benutzt wird. — Das **Jod**, ein fester, grauschwarzer Körper, krystallisiert in Rhombenoktaëdern, verwandelt sich bei + 180° C. in violetes Gas (veilchenfarbig ἰωειδής), aus welchem sich bei der Abkühlung glänzende Krystalle bilden. Es färbt die Stärke tiefblau. Es kommt in Seepflanzen, Seetieren, auch in Salzsoolen und Mineralquellen vor.

247. 1) Die Metalle sind sowohl im festen als auch im flüssigen Zustande undurchsichtig, besitzen einen eigentümlichen Glanz, in Folge ihrer starken Zurückwerfung des Lichtes (Metallglanz), sind schmelzbar, streckbar, dehnbar, die meisten mehrere Male schwerer als das Wasser, und sind die besten Leiter der Wärme und Elektricität.

Gold in sehr dünnen Blättchen ist durchsichtig; die Undurchsichtigkeit hört wohl bei allen Körpern bei einer gewissen sehr geringen Dicke auf. Die Radikale der Alkalien und Erden sind leichter oder nur um weniger als viermal schwerer als Wasser; die anderen Metalle aber vier und noch mehrere Mal schwerer; daher die Einteilung der Metalle in **Leichtmetalle** und **Schwermetalle**.

Die Metalle kommen in der Natur vor: 1) **gediegen**, d. h. rein metallisch, entweder für sich oder mit anderen Metallen verbunden (Arsenik, Arsenikspießglanz, Spießglanz, Spießglanzsilber, Tellur, Blei, Wismut, Kupfer, Gold, Silber, Quecksilber-Amalgam, Platina, Osmium, Palladium, Eisen); 2) als **Erze**, d. h. in Verbindung mit Sauerstoff, Schwefel, Chlor, Arsenik; 3) als **Säuren** (Arseniksäure $As_2 O_5$), und 4) als **Salze** (Eisenvitriol, Kupfervitriol, Kobaltvitriol, Zinkvitriol). Hieraus geht schon hervor, daß sich die Metalle verbinden können mit Sauerstoff, mit anderen brennbaren, unmetallischen Körpern; mit einander und mit oxydierten Körpern, letzteres aber nur dann, wenn sie zuerst Sauerstoff angenommen haben.

2) Die Metalloxyde, Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff, haben keinen metallischen Glanz, sondern ein erdiges Aussehen (Metallkalke). Sie entstehen entweder auf trockenem Wege mittelst Glühen oder

Schmelzen durch den Sauerstoff der Luft, oder auf nassem durch Zersetzung des Wassers (Kalium), durch Glühen in Wasserdämpfen (Eisen), oder durch Zersetzung einer Sauerstoffsäure, wodurch oft Metallauflösungen entstehen, indem sich das entstandene Metalloxyd mit der unzersetzt gebliebenen Säure verbindet, und so eine Lösung eines Metallsalzes giebt. So werden in Salpetersäure aufgelöset: Silber, Eisen, Wismut, Blei, Quecksilber; in Salzsäure: Eisen, Zinn; in Königswasser: Gold, Platina, Eisen, Zinn. Wird in eine solche Auflösung eine Basis gebracht, die zur Säure eine größere Verwandtschaft hat, als das Metalloxyd, so wird dieses ausgeschieden, so wie das Metall, wenn in die Auflösung ein anderes Metall von größerer Verwandtschaft zum Sauerstoff gelegt wird, z. B. aus einer Bleiauflösung wird das Blei durch ein Zinkstäbchen; aus einer Kupferauflösung das Kupfer durch ein Eisenstäbchen abgeschieden, so wie aus einer Silberauflösung das Silber durch Kupfer (Wahlverwandtschaft).

3) Der bei weitem größte Teil der Metalle kann sich mit verschiedenen Mengen von Sauerstoff verbinden oder mehrere Oxydationsstufen haben. Diese werden bezeichnet mit den Namen: Suboxyde, Oxydule, Oxyde, Superoxyde oder Hyperoxyde, indem Suboxyd die niedrigste, Superoxyd die höchste Oxydationsstufe angiebt. Das Suboxyd und Superoxyd sind nicht salzfähige Oxyde, indem jenes erst durch Aufnahme, dieses durch Abgabe von Sauerstoff zu einem basischen Oxyde wird, und auch nur dann sich mit einem andern Oxyde verbinden kann. So hat Eisen zwei Oxydationsstufen: es giebt ein schwarzes und ein rotes Eisenoxyd; jenes ist ein Eisenoxydul ($Fe\,O$), dieses ein Eisenoxyd ($Fe_2\,O_3$). — Zink hat drei Oxydationsstufen; es giebt 1) ein Zinksuboxyd, welches sich an der Oberfläche des Zinks in der Luft bildet und grau aussieht, 2) ein Zinkoxyd, welches sich z. B. bildet, wenn Zink in mit Wasser verdünnte Schwefelsäure gebracht wird, indem das Wasser zersetzt wird, der Sauerstoff zum Zink tritt und der Wasserstoff frei wird, 3) ein Zinksuperoxyd, die Zinkblumen, welche weiß aussehen. — Blei hat vier Oxydationsstufen; es giebt 1) ein Bleisuboxyd, das Häutchen, womit sich schmelzendes Blei belegt (Bleiasche), 2) ein Bleioxyd oder gelbes Bleioxyd (Massikot, Bleiglätte), 3) ein rotes Bleisuperoxyd (Mennige), 4) ein braunes Bleisuperoxyd, wenn sich Pb_2 mit 1 . 2 . 3 . 4 Teilen O verbinden.

Einige Metalle, nämlich Platina, Gold, Silber, Palladium und Iridium werden weder bei niedriger, noch bei hoher Temperatur merklich oxydiert, und ihre Oxyde werden durch Wärme leicht desoxydiert; bei den übrigen Metallen findet das Gegenteil statt. Jene nennt man edle, diese unedle Metalle. Um das Metall aus einem Oxyde zu erhalten, d. h. die die Reduktion des Oxyds zu bewirken, gebraucht man vorzugsweise Kohle oder Wasserstoff. Die Metalloxyde werden entweder mit Kohle geglüht; oder es wird über sie, nachdem sie erhitzt worden sind, Wasserstoffgas geleitet, wodurch dort kohlensaures Gas, hier Wasser entsteht, während das Metall frei wird. Zuweilen, z. B. beim Quecksilberoxyde und Mangansuperoxyde, reicht Erhitzung allein zur Forttreibung des Sauerstoffes hin.

4) Von den Verbindungen der Metalle mit anderen brennbaren, unmetallischen Körpern sind vorzüglich merkwürdig die Verbindungen mit Schwefel und Kohlenstoff, oder die Schwefelmetalle und Kohlenstoffmetalle. — Bei den Schwefelmetallen sind Schwefelstufen, entsprechend den Sauerstufen, zu unterscheiden. Sulfüre und Sulfide verhalten sich zu einander wie Oxydule und Oxyde; man teilt sie ein in Kiese (Kupferkies Cu_2 S, Eisenkies, Arsenikkies, Kobaltkies, Spießglanzkies, Nickelkies) und in Blenden (Quecksilber-, Silber-, Spießglanz-, Arsenik-, Zinkblende), je nachdem sie Metallglanz besitzen oder nicht. Durch Erhitzung der Schwefelmetalle wird der Schwefel als schwefelsaures Gas entfernt. — Von den Kohlenstoffmetallen sind die Verbindungen des Eisens mit Kohlenstoff besonders merkwürdig: weiches Eisen ist reines Eisen ohne oder mit nur wenig Kohlenstoff; Stahl ist Eisen mit Kohlenstoff, und Gußeisen ist Eisen mit mehr Kohlenstoff als im Stahle. Das in den sogenannten Hochöfen durch Reduktion der Eisenerze mittelst Kohle unmittelbar erhaltene Eisen heißt Roheisen oder Gußeisen; es enthält noch 3 bis 5 Prozent Kohlenstoff und andere Beimischungen, wie Mangan, Aluminium, Silicium, und ist deshalb nicht schmiedbar, daher es nur zu Gußwaaren verwendet wird. Durch den Frischprozeß, d. i. durch Schmelzung vor dem Gebläse auf Herden (Frischfeuer) oder in Flammöfen (Puddlingsarbeit), wodurch dem Roheisen mittelst Oxydation der größte Teil des Kohlenstoffes entzogen wird, und durch darauf folgendes Hämmern und Walzen entstehen vierkantige oder runde Stäbe. Dieses nur noch wenig, etwa noch 1/2 Prozent Kohlenstoff enthaltende Eisen heißt Stabeisen; dagegen enthält Stahl 1 bis 1,2 Prozent Kohlenstoff und steht als Kohlenstoffverbindung zwischen Roheisen und Stabeisen. Das Damascieren des Stahles wird durch Ätzen mittelst Säuren bewirkt. — Die Thonerde, welche sich auch in den Edelsteinen Saphir, Rubin, Korund findet, ist nur im Knallgasgebläse schmelzbar und die erhaltene glasartige Masse hat fast Diamanthärte (künstliche Rubine). Das in der Thonerde enthaltene Metall Aluminium, aus Chloraluminium und Natrium dargestellt, ist stark glänzend, dem Silber ähnlich, hat nur 2,56 spez. Gewicht und schmilzt bei 700° C.; es würde bei wohlfeilerer Darstellungsweise die ausgebreitetste Anwendung finden. Die Verbindungen der Metalle mit einander heißen Legierungen, die Quecksilberverbindungen insbesondere Amalgame. Unsere Gold- und Silbermünzen sind Legierungen; Gold wird mit Kupfer (rote Legierung), oder mit Silber (weiße Legierung), oder mit Kupfer und Silber zugleich (gemischte Legierung) legiert — Silber nur mit Kupfer; so ist das Messing eine Metalllegierung aus Kupfer und Zink; Bronze, Kanonenguß und Glockenmetall aus Kupfer und Zinn; Neusilber und Zink, Kupfer und Nickel. Die 1/10 und 1/20 Markstücke sind aus Nickel und Kupfer.

Legierungen schmelzen häufig bei niederer Temperatur als die in ihnen enthaltenen Metalle einzeln, und deshalb werden sie zum Löten gebraucht; so

schmilzt Zinn bei 228°, Blei bei 322°, Wismut bei 246°; aber das Rosesche Metallgemisch aus diesen drei Metallen, und zwar aus 110 Teilen Zinn, 207 Teilen Blei und 284 Teilen Wismut, schmilzt schon in kochendem Wasser, also bei 80° R. — Eisen amalgamiert nicht, daher kann Quecksilber in eisernen Gefäßen aufbewahrt werden.

248. 1) Der Zweck der Chemie ist ein doppelter; zusammengesetzte Körper in ihre Bestandteile zu zerlegen und anzugeben, in welchem quantitativen Verhältnisse diese in jenen enthalten sind, und einfache Stoffe zu zusammengesetzten Körpern zu vereinigen. Die Chemiker bedienen sich hierzu mancher Operationen, die sich aber alle auf die in § 236 angeführten zwei Hauptoperationen: Mischung (Synthese) und Scheidung (Analyse) zurückführen lassen. Außer den in diesem Abschnitte angeführten, auf die chemische Wahlverwandtschaft sich gründenden Scheidungen verdienen hier noch die durch Wärme bewerkstelligten herausgehoben zu werden, nämlich die Verdampfung, Destillation und Sublimation. Bei dem ersten Prozesse werden mittelst Feuer in offenen Gefäßen die flüchtigen Teile eines Körpers als Dämpfe fortgetrieben; bei den beiden letzten aber werden in abgeschlossenen Gefäßen die flüchtigeren Teile der Körper in Dämpfe verwandelt, welche durch Röhren in kühle Gefäße gehen, und sich dort bei der Destillation als flüssige, bei der Sublimation als feste Körper (Sublimat, Blume) niederlassen.

Das Quellwasser ist hartes Wasser; es enthält Luftarten, besonders Kohlensäure; auch Salze, wie schwefelsauren Kalk (Gips) und kohlensauren Kalk. Fleisch, Hülsenfrüchte werden davon durchdrungen — die abgelagerten mineralischen Substanzen machen dieselben hart. — Beim Kochen entweicht die Kohlensäure, und der Kalk schlägt sich nieder als sogenannter Pfannenstein, im Dampfkessel der Dampfmaschine als Kesselstein. Das Flußwasser und Regenwasser ist weiches Wasser; es hat während des Fließens Gasarten und Salze abgesetzt. Im weichen Wasser löset sich die Seife, ohne Trübung hervorzubringen, auf; im harten bilden sich dagegen weiße Flocken, weil die Seife durch den kohlensauren Kalk aufgelöset wird. Stahlwasser enthält kohlensaures Eisen; Schwefelwasser enthält Schwefelwasserstoff; Solwasser Kochsalz nebst Kalk- und Talkerde ꝛc. Mechanische Beimengungen im Wasser werden durch ruhiges Stehenlassen, durch Filtrieren oder Durchseihen (im Kleinen durch Filtrierpapier, d. i. ungeleimtes Papier, im Großen durch Sandschichten), chemische Beimischungen aber durch Destillation getrennt, wodurch allein ganz reines Wasser erhalten wird. Trockene Destillation. — Rektifikation bezeichnet die Destillation eines Destillats. Rektifizierter Alkohol. — Bei der Abdampfung wird das Zurückgebliebene, bei der Destillation und Sublimation aber das Fortgetriebene benutzt.

2) Die merkwürdigsten chemischen Zersetzungen hat man in der neueren Zeit durch den elektrischen Strom, den Galvanismus, bewirkt. Man hat durch ihn nicht nur Wasser in seine beiden Bestandteile: Sauerstoff- und Wasserstoffgas, sondern auch Metalloxyde, Alkalien, Erden, Säuren, Salze und andere zusammengesetzte Körper zerlegt, und hat so die Radikale der Alkalien und Erden entdeckt, und dadurch die Zahl der Metalle bedeutend vermehrt. Bei dieser Zerlegung sammelt sich das Wasserstoffgas, alle oxydierbaren Körper, die Oxyde, Alkalien und Erden am negativen Pole und heißen deshalb elektro-

positive, so wie sich das Sauerstoffgas und die Säuren nach dem positiven Pole begeben, und deshalb elektronegative Substanzen genannt werden. Die einfachen Stoffe lassen sich in eine elektrochemische Reihe bringen (§ 214, 2), in welcher zwei Körper einen desto größeren elektrischen Gegensatz bilden, je weiter sie von einander stehen und deren Endglieder Sauerstoff und Kalium sind, jener als der elektronegativste, und dieser als der elektropositivste Körper. Je weiter zwei Körper in dieser Reihe von einander stehen, desto größer ist ihre Neigung, sich mit einander zu verbinden, am größten also bei den Endgliedern Kalium und Sauerstoff. Kalium auf Wasser gebracht, verbindet sich mit dem Sauerstoff desselben; der Wasserstoff des H_2O entzündet sich. Daher muß Kalium in einer sauerstofffreien Flüssigkeit — Steinöl — aufbewahrt werden.

3) Zu den chemischen Prozessen gehört auch die Verbrennung, über die das Wichtigste schon beim Sauerstoffe angeführt worden ist; hier fügen wir nur noch hinzu, daß die Hauptbestandteile aller unserer Brennmateriale, wie Holz, Kohle, Torf, Wachs, Talg, Öle u. s. w., Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff sind, und daß die Verbrennung dieser Körper Kohlensäure, Wasser, und als unverbrannten Kohlenstoff Rauch und Ruß giebt. Bei jedem Brennmaterial verbrennt zuerst der Wasserstoff flammend, da er den Kohlenstoff glühend macht, dann erst erfolgt die glühende Verbrennung des Kohlenstoffes.

Die Flamme eines kohlenwasserstoffhaltigen Leuchtmaterials hat drei Teile. Wir sehen bei einer brennenden Kerze in der Mitte der Flamme einen bläulichen, nicht leuchtenden Kegel, gebildet von verdampfendem Leuchtmaterial; diesen umgiebt ein zweiter Kegel als leuchtende Hülle, worin wegen unvollkommenen Zutritts des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft nur Wasserstoffgas und Kohlenwasserstoffgas verbrennen und die hierdurch erzeugte Hitze die ausgeschiedenen festen Kohlenpartikel weißglühend und so die Flamme leuchtend macht. Die äußerste Hülle, ein schwachleuchtender bläulicher Nebel, ist infolge ungehemmten Zutritts der atmosphärischen Luft die Stätte der vollständigen Verbrennung des Kohlenstoffes und auch der höchsten Temperatur; die heißeste Stelle befindet sich etwas über der Spitze des mittleren Kegels. Leuchtend kann eine Flamme nur sein, wenn darin ein weißglühender fester Körper ausgeschieden wird; daher ist die Flamme von Weingeist und Wasserstoffgas nicht leuchtend, wohl aber die von Schwefeläther und Leuchtgas. Der leuchtende Teil der Flamme wirkt wegen des vielen Kohlenstoffes desoxydierend, der äußerste aber wegen seines Überschusses an Sauerstoff oxydierend; man spricht daher von einer desoxydierenden und oxydierenden Flamme, oder von einer Reduktions- und Oxydations-Flamme. — Löthror.

249. Die chemischen Verbindungen der anorganischen Körper sind binäre, aber die der organischen sind ternäre und quaternäre. Die Hauptbestandteile der letzteren sind der Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, in der Art, daß Kohlenstoff keinem fehlt, die meisten aber aus Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff bestehen, zu denen noch bei vielen, besonders bei den tierischen Substanzen, der Stickstoff hinzutritt. Manche organische Körper enthalten auch noch Kalium, Natrium, Eisen, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Phosphor, Kieselsäure, Kalkerde u. s. w. Im toten organischen Körper geht beim Zutritte der

atmosphärischen Luft, hinlänglicher Wärme und Feuchtigkeit eine Veränderung in der Grundmischung vor sich, welcher chemische Prozeß die Gärung heißt. Man unterscheidet in der Gärung drei Stufen, nämlich eine geistige (Weingärung), eine saure (Essiggärung) und eine faule Gärung (Fäulnis, Verwesung). Wenn bei gehöriger Wärme zuckerhaltige, vegetabilische Körper mit Wasser übergossen werden, so geraten sie in die geistige Gärung, indem sich die Flüssigkeit trübt, eine Luftentwicklung (kohlensaures Gas) stattfindet und darauf ein Schaum sich auf der Oberfläche sammelt. So wie die Luftentwickelung aufhört und der Schaum sich verliert, wird die Flüssigkeit klar, erhält einen weinartigen Geschmack und Geruch, außerdem eine berauschende Kraft. In diesem Zustande heißt die Flüssigkeit Wein im chemischen Sinne (Wein, Obstwein, Bier, Branntwein). Der Wein wird bei freiem Zutritte der Luft und größerer Wärme zur Säure, d. h. er verliert die vorhin angeführten Eigenschaften, überzieht sich mit einer weißen Haut (Schimmel) und erhält einen sauren Geschmack. Er heißt nun Essig (Weinessig, Obstessig, Malzessig), der sich vom Weine nur durch einen größeren Gehalt an Sauerstoff unterscheidet. In dem so veränderten Körper beginnt wiederum bei freiem Zutritte der Luft eine neue Gärung; es entwickeln sich aus ihm verschiedene Luftarten (Stickgas, Ammoniakgas, kohlensaures Gas, Kohlen-, Schwefel- und Phosphorwasserstoffgas), er bekommt einen ekelhaften Geschmack und Geruch, und zuletzt bleibt nur eine Art Erde (Damm- und Gartenerde) zurück. Mit dieser dritten Stufe von Gärung, der Fäulnis oder Verwesung, fangen an und enden zugleich die Tierkörper, indem sie die beiden ersteren überspringen.

Gärende Körper, oder solche, die leicht gären, werden als Gärungsmittel (Fermente) gebraucht, z. B. Hefen, Sauerteig; der Gärung unfähige Körper, z. B. Weingeist, Wachs, Kampfer, Säuren, wie Schwefelsäure, Essigsäure, Salze, wie Salpeter, Kochsalz u. s. w., verhindern die Gärung anderer Körper, wenn sie sie umgeben. Außerdem müssen auch, da zur Gärung durchaus Zutritt der Luft, Wärme und Feuchtigkeit nötig sind, das Abhalten von Luft, die Kälte und Trockenheit gute Mittel gegen die Gärung sein. Daher werden Weine und Biere in Flaschen zugepfropft, Fleisch eingesalzen und geräuchert, tote animalische Körper in Spiritus aufbewahrt, Weine abgeschwefelt; daher auch die Eigenschaft des trockenen und kalten Bleikellers zu Bremen, Leichname lange vor der Verwesung zu schützen. Das Einbalsamieren der Leichname. In neuerer Zeit werden Salicylsäure (aus dem Salicin der Weidenrinde) und Karbolsäure (Kreosot) in der Medizin mit großem Erfolg angewendet, um Gärung und Fäulnis aufzuhalten.

Alphabetisches Sachregister.